Die

Schule der Physik.

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

Die

Schule der Physik.

Eine Anleitung

zum

ersten Unterricht in der Naturlehre.

Zum

Schulgebrauch und zur Selbstbelehrung

von

Dr. Joh. Müller,
Professor zu Freiburg im Breisgau.

Mit 293 in den Text eingedruckten Holzstichen.

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1874.

Vorrede.

Während die Zahl der physikalischen Lehrbücher, welche für Mittelschulen und höhere Lehranstalten bestimmt sind, von Jahr zu Jahr beträchtlich zunimmt, ist in der letzten Zeit für den Elementarunterricht in der Naturlehre wenig geschehen, indem die Männer von Fach sich der Bearbeitung dieses Feldes allzu sehr entziehen und es solchen überlassen, welchen vielfach die nöthige Sachkenntniß fehlt.

Unter diesen Umständen glaube ich in der That einem Bedürfniß entgegen zu kommen, wenn ich einen seit längerer Zeit schon mit einer gewissen Vorliebe gehegten Plan, eine Anleitung für den ersten physikalischen Unterricht auszuarbeiten, zur Ausführung bringe.

Daß mir zu diesem Zweck die nöthige Sachkenntniß nicht fehlt, glaube ich durch meinen für Mittelschulen bestimmten, bereits in 11 ter Auflage erschienenen Grundriß der Physik sowohl wie durch mein für eingehendere Studien bestimmtes zweibändiges Lehrbuch der Physik bewiesen zu haben, welches 7 Auflagen erlebte. Ob das vorliegende Werkchen mit dem hier ganz besonders nöthigen pädagogischen Tact bearbeitet worden ist, darüber muß ich das Urtheil sachkundigen Schulmännern überlassen; eine einigermaaßen eingehende Prüfung desselben wird aber jedenfalls darthun, daß ich es bei dieser Arbeit an Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit nicht fehlen ließ.

Der elementare Unterricht in der Naturlehre muß vorzugsweise darauf gerichtet sein, eine richtige Anschauung gerade derjenigen Naturerscheinungen zu vermitteln, welche Jedem im alltäglichen Leben entgegentreten und doch gar leicht unbeachtet bleiben oder gar falsch verstanden werden.

Eine gute Volksschule kann und soll selbst in den höheren Klassen natürlich keinen auch nur einigermaaßen vollständigen Unterricht in der Physik an-

streben, es ist vielmehr hier dringend nöthig, einerseits aus der sich täglich mehrenden Masse physikalischer Kenntnisse nur das Wichtigste und Einfachste in den Lehrkreis hereinzuziehen, damit der elementare Unterricht nicht durch Ueberladung unfruchtbar werde; andererseits aber auch, um den Schüler mit den in den Kreis des Unterrichts hereingezogenen Gegenständen genügend vertraut zu machen, Manches ausführlicher zu besprechen und durch Beispiele zu erläutern, als es beim höheren Unterrichte erforderlich ist, zu welchem der Zuhörer schon einen gewissen Schatz von Anschauungen mitbringt, welche beim elementaren Unterricht erst entwickelt werden sollen.

Ein auf die Entwickelung richtiger physikalischer Anschauungen gerichteter Unterricht wird nothwendig auch ein selbstständiges Nachdenken veranlassen. Er liefert alsdann auch ein treffliches Material zu Rechnungsbeispielen, welche einestheils die naturwissenschaftlichen Kenntnisse befestigen, und anderentheils die Gewandtheit im Rechnen fördern.

Wenn der physikalische Unterricht in der Schule auch nicht über enge Gränzen hinausgehen darf, wenn das hier vorzutragende Material nothwendig ein beschränktes sein muß, so darf man sich doch nie verleiten lassen, unter dem Vorwande, das Richtige sei zu schwer verständlich, Unrichtiges oder gar Falsches vorzutragen. Es schadet ja dem Schüler gar nichts, wenn er sich klar bewußt ist, über diesen oder jenen Punkt nichts zu wissen, und es ist das jedenfalls besser, als wenn die Unwissenheit durch einen falschen Schein bemäntelt wird.

Jedenfalls aber müssen die im ersten Unterricht entwickelten Anschauungen über Naturerscheinungen und Naturkräfte der Art sein, daß man später darauf fortbauen kann, daß man nicht das in der Schule Gelernte wieder vergessen muß, bevor man zu einer höheren Stufe aufsteigen kann, wie dies leider nicht selten bei einem nach falschen Grundsätzen geleiteten Unterricht nicht nur in der Naturlehre, sondern auch in anderen Fächern, z. B. dem mathematischen, der Fall ist.

Gerade beim Elementarunterricht in der Naturlehre ist es nothwendig, so weit als irgend möglich von der Erfahrung, von der Beobachtung auszugehen und dem Schüler nicht gleich mit theoretisch fertigen Sätzen entgegenzutreten, welche ihn leicht verwirren, weil er sie nicht versteht. Vermeiden aber muß man es, dem Gedächtniß unverstandene theoretische Sätze einzuprägen, weil dadurch der Oberflächlichkeit Thor und Thür geöffnet ist und der Schüler sich allzuleicht daran gewöhnt, sich mit der Phrase zu begnügen und er zu der Meinung verleitet wird, als ob er Dinge wisse, welche über den Gränzen seines Erkenntnißkreises hinausliegen.

Dem Streben, so weit es irgend möglich ist von der Anschauung auszugehen, tritt freilich der Umstand hindernd entgegen, daß gute physikalische Apparate meist sehr kostspielig sind und sich dadurch der Anwendung in der

Schule entziehen, während sie doch dem Verständniß des Schülers keineswegs zu hoch liegen, wie dies z. B. bei der Luftpumpe der Fall ist. Hier gilt es also, die wichtigsten Grundwahrheiten der Naturlehre auf Versuche zu gründen, welche mit den einfachsten Mitteln auf das Sicherste ausgeführt werden können. Es erschien mir deshalb durchaus nöthig, die Versuche mit der genügenden Ausführlichkeit zu besprechen und namentlich die Vorsichtsmaaßregeln anzugeben, welche den Erfolg des Versuches sicherstellen. Ich habe deshalb in diesem Werkchen keinen Versuch beschrieben, den ich nicht unmittelbar vorher angestellt und mich von seinem Gelingen überzeugt hatte. Auf diesem Wege habe ich manchen Versuch beseitigt, der seit längerer Zeit, ohne Kritik von Buch zu Buch wandernd, auf dem Papier sich zwar ganz schön ausnimmt, bei der Ausführung aber mehr oder weniger mißlingt.

Der Geübtere weiß den Grund des Mißlingens aufzufinden und auch aus dem nicht ganz gelungenen Versuche seine Consequenzen zu ziehen, während der weniger Geübte, durch die Unvollständigkeit des Versuches verwirrt, seiner Ungeschicklichkeit vielleicht zur Last legt, was in der Mangelhaftigkeit der Anordnung begründet ist.

Soweit es geschehen konnte, war ich bemüht, Dinge, welche das alltägliche Leben bietet, Gefäße, Geräthschaften, Werkzeuge u. s. w., als Material für den ersten Unterricht in der Naturlehre heranzuziehen, und zwar einerseits um die Versuche mit geringen Kosten herstellen zu können, andererseits aber auch, um gerade bei den Vorkommnissen des alltäglichen Lebens die Herrschaft der Naturgesetze zu constatiren.

Wo es an dem nöthigen Versuchsmaterial fehlt, wo die Zusammenstellung eines wenn auch einfachen Apparates mehr Uebung und Gewandtheit voraussetzt, als man von dem Lehrer in der Regel vorauszusetzen berechtigt ist, da wird man wohl oft die Hülfe und Unterstützung des nächsten Apothekers in Anspruch nehmen dürfen; bei ihm findet man wenigstens gute Wagen, Barometer, Thermometer, Aräometer, Glaskolben, Glasröhren, Gummischläuche, ein Mikroskop u. s. w., und wenn man es mit einem humanen für die Volksbildung sich interessirenden Mann zu thun hat, wird er sich gern herbeilassen, so weit es seine Zeit ihm gestattet, einige chemische Versuche, wie z. B. die Darstellung des Sauerstoffgases u. s. w., vor einer nicht zu großen Schülerzahl auszuführen.

Ein in richtigem Sinne geleiteter elementarer Unterricht in der Naturlehre wird, indem er den Schüler über einen gewissen Kreis von Erscheinungen aufklärt, gewiß nicht dahin wirken, ihn über die Gränzen seiner Erkenntniß zu täuschen und eine oberflächliche Vielwisserei zu nähren, welche ihn veranlaßt, über Dinge abzuurtheilen, für welche ihm der richtige Maaßstab fehlt und welche wohl gar außerhalb der Sphäre liegen, für welche die Naturwissenschaften überhaupt competent sind.

Was die Benutzung dieses Büchleins betrifft, so kann es natürlich meine Meinung nicht sein, dasselbe gleichsam als Programm anzusehen, welches unabänderlich ausgeführt werden müsse; es soll vielmehr nur dazu dienen, zu zeigen, wie die einzelnen Materien im Elementarunterricht zu behandeln sind. Dem denkenden Lehrer muß es dann überlassen bleiben, ab- und zuzuthun, also einzelne der hier vorgetragenen Gegenstände entweder ganz zu übergehen und entsprechend abzukürzen oder auch dieselben, wenn es angemessen erscheint, ausführlicher zu behandeln.

Das erste Buch dieser Schule der Physik hat zum Zweck, eine richtige Anschauung von den verschiedenen Zusammenhangsformen (Aggregatzuständen) der Körper zu entwickeln und die chemische Natur der wichtigsten Stoffe zu erläutern, mit welchen man im alltäglichen Leben zu thun hat.

Das zweite Buch behandelt die Grundlehren der Mechanik oder die wichtigsten Gesetze der Bewegung und des Gleichgewichts fester, flüssiger und luftförmiger Körper. Es ist die Aufgabe dieser Abtheilung vor Allem, auch richtige Vorstellungen über Trägheit und Schwere, über mechanische Arbeit und lebendige Kraft sowie auch über mechanische Potenzen zu entwickeln, damit dieselben nicht, wie bei mangelhaftem Unterricht so leicht geschieht, als Kraftquellen betrachtet werden, was bekanntlich die thörichtsten Speculationen zur Folge hat. — Seiner hervorragend praktischen Bedeutung nach ist denn auch dieses zweite Buch das umfangreichste des ganzen Werkleins.

Das dritte Buch behandelt die Akustik, d. h. die Lehre vom Schall; sie ist etwas ausführlicher behandelt als es sonst in Schriften über elementare Naturlehre zu geschehen pflegt, weil ich es für wesentlich halte, daß der in jeder guten Schule gepflegte Musikunterricht eine Ergänzung in dem naturwissenschaftlichen Unterricht finde, während umgekehrt die überall zugänglichen musikalischen Instrumente ein treffliches Material für physikalische Versuche liefern.

Verhältnißmäßig kürzer ist die Lehre vom Licht behandelt, denn hier kam es nur darauf an, mit vollständigem Ausschluß der sogenannten physikalischen Optik die Wirkung der bekanntesten optischen Instrumente zum Verständniß zu bringen.

Die Wärme spielt im Haushalt der Natur sowohl wie auch im alltäglichen Leben eine so wichtige Rolle, daß hier eine etwas ausführlichere Besprechung nöthig war, was auch um so eher geschehen konnte, als die meisten der hierhergehörigen Versuche verhältnißmäßig leicht anzustellen und zu verstehen sind.

Unter allen Zweigen der Physik hat ohne Zweifel die Lehre vom Magnetismus und der Elektricität die geringste Bedeutung für das alltägliche Leben, ich mußte mich deshalb in diesem Capitel so kurz fassen, wie möglich.

Der denkende und erfahrene Lehrer wird wohl damit einverstanden sein, daß eine Besprechung der thermo-elektrischen Ströme, des Thermomultiplica-

tors, der Inductionsströme u. s. w. nicht in den elementaren Unterricht gehört; daß man sich damit begnügen müsse, das wirkende Princip verständlich zu machen, welches bei zusammengesetzteren Apparaten, wie z. B. der Dampfmaschine, den elektrischen Telegraphen u. s. w. in Anwendung kommt, und ein eingehenderes Studium derselben höheren Unterrichtskreisen überlassen bleiben muß.

Während einerseits die Hauptaufgabe unserer Schule der Physik ist, ein richtiges Verständniß der wichtigsten physikalischen Gesetze zu vermitteln, schien es mir andererseits als Nachhülfe für das Gedächtniß zweckmäßig, die gewonnenen Gesetze in bündiger Fassung zusammenzustellen, wie dies in einem Anhang unter dem Titel „Uebersicht der wichtigsten physikalischen Gesetze" geschehen ist.

Freiburg i. B., im September 1873.

J. Müller.

Inhaltsverzeichniß.

Erstes Buch.

Die Zusammenhangsformen und die Zusammensetzung der Körper.

Seite

1. Das Wasser 1
2. Feste Körper 2
3. Die Luft 3
4. Die Urtheilchen 6
5. Verschiedenheit der Urtheilchen 9
6. Zerlegung des Quecksilberoxyds 10
7. Gewichtszunahme durch Verbindung mit Sauerstoff 13
8. Die Oxyde der schweren Metalle 15
9. Die Bindungsgewichte 16
10. Edle und unedle Metalle 16
11. Die Erden 16
12. Die Alkalien 18
13. Stickstoff 19
14. Wasserstoff 21
15. Chlor 24
16. Die Säuren 25
17. Verbindung von Säuren mit Basen 29
18. Die salpetersauren und kohlensauren Salze 30
19. Die Kieselerde 31
20. Schwefel- und Chlorverbindungen 32
21. Tabellarische Zusammenstellung der Bindungsgewichte der verbreitetsten Körper 33
22. Die organischen Stoffe 36

Zweites Buch.

Die Mechanik oder die Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung.

23. Das Beharrungsvermögen 37
24. Die Schwere 39
25. Das Gewicht 40

Seite

26. Das specifische Gewicht 41
27. Der freie Fall 42
28. Wurfbewegung 45
29. Centralbewegung 49
30. Die Fliehkraft 51
31. Pendel 52
32. Mechanische Arbeit 56
33. Der Flaschenzug 57
34. Der Hebel 59
35. Der Schwerpunkt 63
36. Standfestigkeit 69
37. Elasticität 72
38. Die Wucht 73
39. Der Stoß 74
40. Gleitende Reibung 75
41. Wälzende Reibung 77
42. Nutzen der Reibung 78
43. Gleichförmige Fortpflanzung des Drucks durch Flüssigkeiten 71
44. Die Schwere der Flüssigkeiten 81
45. Der Auftrieb 81
46. Das Eigengewicht der Körper 84
47. Das Schwimmen 85
48. Verhalten der Flüssigkeiten gegen feste Körper 87
49. Auflösung 89
50. Verhalten der Flüssigkeiten gegen einander 90
51. Bewegungserscheinungen flüssiger Körper 91
52. Schwere der Luft 93
53. Der Luftdruck 96
54. Der Heber 100
55. Das Barometer 102
56. Der Atmosphärendruck 105
57. Der Heronsball und die Feuerspritze 107
58. Die Luftpumpe 109
59. Der Luftballon 112

Drittes Buch.

Die Akustik oder die Lehre vom Schalle.

60. Schallbildung 116
61. Tonhöhe 119
62. Die Saiteninstrumente 122
63. Tönende Schwingungen von Stäben, Platten und Glocken 125
64. Tönende Luftsäulen 128
65. Pfeifen 129
66. Die Zungenpfeifen 132
67. Das menschliche Stimmorgan 134
68. Klangfarbe 135
69. Geschwindigkeit des Schalles 137
70. Zurückwerfung des Schalles 138

Viertes Buch.

Die Optik oder die Lehre von den Lichterscheinungen.

Seite

71. Lichtstrahlen und Schatten 141
72. Spiegelung und Zerstreuung der Lichtstrahlen 142
73. Das Gesetz der Spiegelung 144
74. Kugelspiegel 146
75. Brechung des Lichtes 150
76. Linsen 154
77. Dunkle Kammer und Zauberlaterne 158
78. Das Vergrößerungsglas oder die Lupe 160
79. Hohllinsen 161
80. Das Auge 162
81. Das Mikroskop 165
82. Das Fernrohr 168
83. Das Spectrum 169
84. Farbige Körper 170
85. Die Photographie 170
86. Was ist Licht? 172

Fünftes Buch.

Die Wärme.

87. Ausdehnung fester Körper durch die Wärme 174
88. Ausdehnung flüssiger Körper 175
89. Das Thermometer 178
90. Ausdehnung der Luft 181
91. Luftströmungen 182
92. Der Schmelzpunkt 185
93. Schmelzungswärme 187
94. Kältemischungen 188
95. Verdampfung 189
96. Siedepunkte 191
97. Spannkraft des Wasserdampfes bei niederer Temperatur 193
98. Spannkraft des Wasserdampfes bei hoher Temperatur 196
99. Verdampfungswärme 201
100. Kälte durch Verdampfung 202
101. Wärmeleitung 202
102. Wärmestrahlung 205
103. Verhalten verschiedener Körper gegen die Wärmestrahlen 206
104. Der Thau 208
105. Die Quellen der Wärme 209
106. Was ist Wärme? 212

Sechstes Buch.

Magnetismus und Elektricität.

Seite

107. Einleitung 214
108. Natürliche und künstliche Magnete 214
109. Magnetische Pole 216
110. Stahl und Eisen 217
111. Die magnetischen Flüssigkeiten 219
112. Reibungselektricität 220
113. Leiter und Nichtleiter 222
114. Elektrische Vertheilung 224
115. Das Elektrophor 227
116. Die Elektrisirmaschine 228
117. Der elektrische Funke 229
118. Die Leydener Flasche 230
119. Elektrische Spitzenwirkung 233
120. Elektrische Ströme 235
121. Die Volta'sche Säule 236
122. Wärme- und Lichtentwickelung durch den galvanischen Strom 239
123. Chemische Wirkungen des Stromes 239
124. Die magnetischen Wirkungen des Stromes 240

Uebersicht der wichtigsten physikalischen Gesetze.

Die Zusammenhangsformen und die Zusammensetzung der Körper 247
Gleichgewicht und Bewegung 248
Die Lehre vom Schall 252
Die Lehre vom Licht 253
Die Wärme 255
Magnetismus und Elektricität 257

Erstes Buch.

Die Zusammenhangsformen und die Zusammensetzung der Körper.

Das Wasser. Es giebt wohl kaum einen Stoff, welcher auf der Erd- 1
oberfläche verbreiteter, welcher durch den täglichen Gebrauch Jedermann bekannter wäre als das Wasser, und deshalb wollen wir auch das Wasser zum Ausgangspunkte unserer Betrachtungen über das Wesen der Körper wählen.

Nehmen wir ein Becken mit Wasser zur Hand, so können wir aus demselben mit einem Glase kleinere Wassermengen herausschöpfen, wir können das Wasser aus dem Glase tropfenweise ausfließen lassen. Die Wassertropfen, welche aus dem Glase etwas hoch auf eine Steinplatte oder auf eine Holzdiele herabfallen, werden in Form kleinerer Tröpfchen aus einander spritzen, und wenn man endlich ein solches Wassertröpflein mit einem Stück Löschpapier betupft, so wird es von den Poren desselben dergestalt aufgesaugt, daß das Papier zwar befeuchtet erscheint, daß man aber nicht im Stande ist, Wassertheilchen einzeln als solche zu unterscheiden.

So sehen wir denn, daß eine jede beliebige Wassermasse leicht theilbar ist und daß sich die Theilung leicht so weit treiben läßt, daß die einzelnen Partikelchen für sich nicht mehr wahrnehmbar sind.

Diese Eigenschaft der Theilbarkeit, welche wir soeben beim Wasser kennen lernten, kommt aber, wie wir bald sehen werden, allen Stoffen zu, welche wir in der Natur finden, die Theilbarkeit ist eine allgemeine Eigenschaft der Körper.

Kehren wir aber zur Betrachtung der Eigenschaften des Wassers zurück. Die obigen Versuche zeigen nicht allein, daß das Wasser überhaupt theilbar, sondern sie zeigen auch, daß es sehr leicht theilbar ist, daß die geringste Kraft schon hinreicht, die Wassertheilchen von einander zu trennen und sie gegen einander zu verschieben. Daher kommt es denn auch, daß einzelne Wassermassen keine selbstständige Gestalt haben, daß man nicht von einem Stück Wasser reden

kann, wie von einem Stück Holz oder einem Stück Eisen; die Gestalt einer gegebenen ruhenden Wassermasse hängt lediglich ab von der Form der festen Körper, welche sie begränzen, von der Gestalt der Gefäße, in welchen sie enthalten ist. Das in einem runden Waschbecken enthaltene Wasser bildet eine halbkugelförmige Masse, wenn man es aber in einen Hohlwürfel gießt, so nimmt es alsbald einen von ebenen Flächen und geradlinigen Kanten begränzten Raum ein.

Die gleiche Masse Wasser nimmt ferner stets einen gleich großen Raum ein; 1 Pfund Wasser z. B. füllt genau 1 Schoppen ($^1/_2$ Liter), also ein Schoppenglas oder eine Schoppenflasche genau bis zum Aichstrich aus. Man kann 1 Pfund Wasser aber nicht in ein Fläschlein von $^1/_2$ Schoppen Inhalt hineinpressen, und wenn man 1 Pfund Wasser in eine Flasche von 2 Schoppen Inhalt gießt, so wird dieselbe nur bis zur Hälfte angefüllt.

Obgleich also die einzelnen Theilchen einer Wassermasse sich ungemein leicht gegenseitig verschieben lassen, so bleiben sie doch, so lange nicht eine Trennung stattfindet, in unveränderlicher gegenseitiger Entfernung; denn wenn die Entfernung der einzelnen Theilchen einer gegebenen Wassermasse größer oder kleiner würde, so müßte ja nothwendig auch der Raum, den diese Wassermasse einnimmt, größer oder kleiner werden.

Die freie Oberfläche des Wassers in irgend einem Gefäß ist stets horizontal oder, was dasselbe ist, wagerecht.

Dieselben Eigenschaften, welche wir soeben am Wasser kennen lernten, finden wir auch bei anderen Flüssigkeiten, z. B. beim Quecksilber, Weingeist, Schwefeläther, Vitriolöl, Petroleum, den verschiedenen fetten und flüchtigen Oelen u. s. w.

2 **Feste Körper.** Setzen wir das in einem Waschbecken enthaltene Wasser einer starken Winterkälte aus, so erstarrt es, das Wasser gefriert, es wird in Eis verwandelt, d. h. es verliert seinen flüssigen Zustand, es wird ein fester Körper.

Wir können nun in die Eismasse nicht mehr die Hand eintauchen wie in das Wasser; aus dem Becken herausgenommen, haben wir ein Stück Eis von der Form der Schüsselhöhlung, welches seine Gestalt unverändert beibehält, so lange es nicht schmilzt oder durch Gewalt in Stücke zerschlagen wird. Aus einer gegebenen Eismasse kann man einen Würfel heraussägen; ein solcher Eiswürfel behält seine Gestalt ebenso wie ein Holzwürfel, wie ein Würfel von Glas, von Marmor, von Eisen u. s. w. Die Eistheilchen, welche eben eine Ecke des Würfels oder eine Würfelkante bilden, bleiben eben an ihrer Stelle; man kann die Eistheilchen, welche sich eben an der Oberfläche des Würfels befinden, nicht in das Innere des Würfels hinein- und die Theilchen, die sich eben im Inneren des Würfels befinden, nicht an seine Oberfläche bringen. Kurz die einzelnen Theilchen eines Eisstückes lassen sich nicht gegenseitig verschieben; durch gewisse Kräfte werden sie in der gegenseitigen Stellung festgehalten, welche sie nun einmal eingenommen haben.

Uebrigens ist das Eis theilbar, wie das Wasser, nur erfordert die Trennung der Eistheilchen weit größere Kräfte als die Trennung der Wassertheilchen.

Mit dem Hammer kann man ein Eisstück zerschlagen; man kann es, wenn die Operation bei hinreichender Kälte vorgenommen wird, zu einem feinen weißen Pulver zerstoßen. Die Schneeflocken sind aus den feinsten Eisnädelchen zusammengesetzt.

Die Luft. Das Wasser kann aber auch noch eine dritte Form anneh- 3
men, es kann als Wasserdampf luft- oder gasförmig werden.

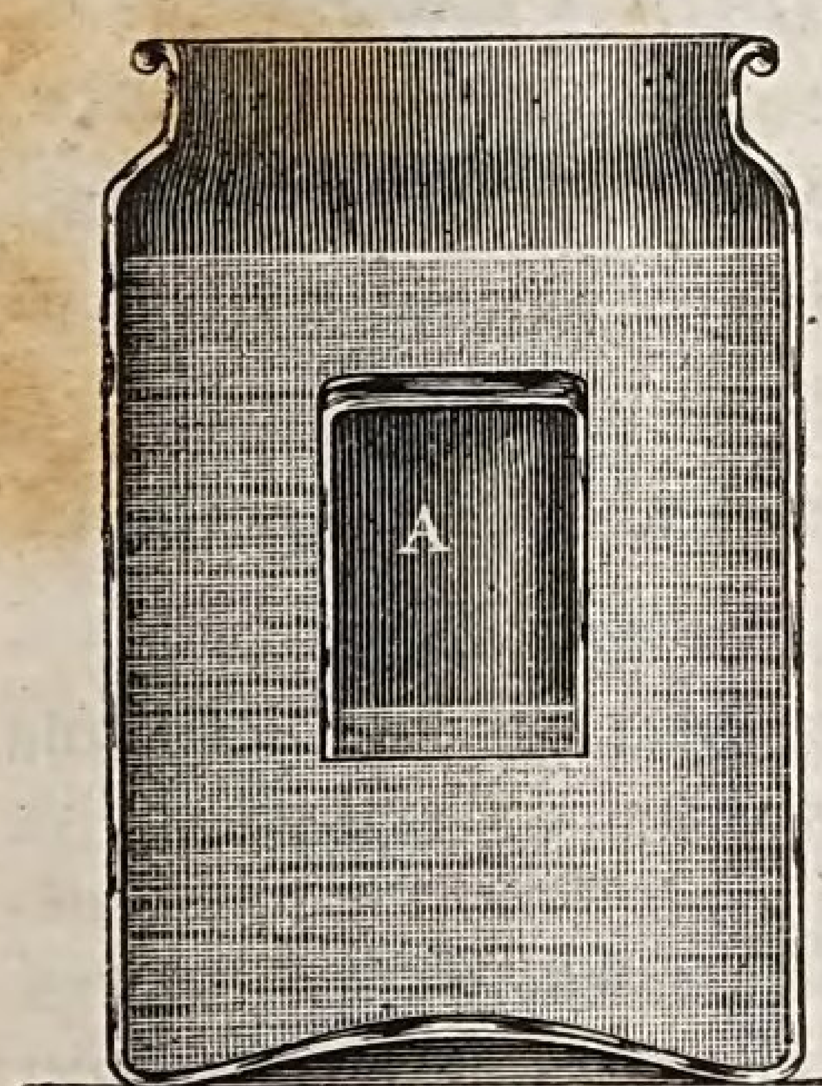
Wenn man an einem heißen trocknen Sommertage ein flaches Schälchen mit Wasser ins Freie stellt, so wird, namentlich wenn ein schwacher Wind weht, in kurzer Zeit alles Wasser aus dem Schälchen verschwunden sein, es ist verdunstet, es hat sich in Form von Wasserdampf in der Luft verbreitet.

Der in der Luft verbreitete Wasserdampf ist für uns vollkommen unsichtbar; daß er aber wirklich in der Luft enthalten ist, kann man dadurch nachweisen, daß man an einem heißen, schwülen Sommertage recht kaltes Wasser (etwa solches, welches in einem recht kühlen Keller gestanden hat) in ein dünnwandiges Glas gießt. Dadurch werden die Glaswände sowohl wie die sie umgebenden Luftschichten erkaltet und der in denselben enthaltene, bis dahin unsichtbare Wasserdampf setzt sich in Form feiner Thautröpfchen auf das erkaltete Glas an, das Glas beschlägt.

Der Wasserdampf ist nun nicht geeignet, die Natur der gasförmigen Körper zu erläutern, weil er durch Abkühlung so leicht wieder in den tropfbar flüssigen Zustand zurückgeführt werden kann; man muß dazu eine Gasart (Luftart) wählen, welche man weder durch Abkühlung, noch durch verstärkten Druck flüssig machen kann, also z. B. die atmosphärische Luft, die Luft, die uns umgiebt, in der wir leben, die wir athmen.

Die Luft umhüllt unseren ganzen Erdball und füllt auf dessen Oberfläche alle Räume aus, welche nicht von festen oder flüssigen Körpern eingenommen werden. Da wir mitten in der Luft leben, so erscheint sie uns nicht in Form begränzter Massen, wie dies bei festen und flüssigen Körpern der Fall ist, wenn wir nicht absichtlich eine Parthie Luft absperren, wie es z. B. der Fall ist, wenn man ein Trinkglas *A* mit der Oeffnung nach unten im Wasser untertaucht (wie Fig. 1 andeutet), oder wenn man Luftblasen im Wasser aufsteigen läßt, wie es geschieht, wenn man eine beiderseits offene Glasröhre mit dem einen Ende unter Wasser taucht und dann durch das andere Ende Luft einbläst.

Fig. 1.



$\frac{1}{7}$

Obgleich wir die Luft nicht sehen können, wie etwa einen Stein, wie das Wasser eines Baches oder den fallenden Regentropfen, so giebt es doch zahlreiche Erscheinungen, welche uns von ihrem Dasein überzeugen. Wir athmen die Luft, ohne die wir nicht leben können; wir fühlen den Wind, der uns entgegenstürmt, und sehen die Staubwolken, die er aufwirbelt. Die Luft dient dem Flügel des Vogels, der sich ohne sie nicht vom Boden erheben könnte, zum Stützpunkt.

Die atmosphärische Luft, ebenso wie alle übrigen Luftarten (Gase), ist theilbar, wie die festen und flüssigen Körper, und zwar lassen sich die Lufttheilchen leicht von einander trennen und verschieben, sonst könnten wir uns nicht so völlig frei in der Luft bewegen. Von festen und flüssigen Körpern unterscheiden sich aber die luftförmigen dadurch, daß eine gegebene Gasmasse nicht immer denselben Raum einnimmt, sondern daß dieser Raum lediglich von dem Druck abhängt, dem sie ausgesetzt ist.

Fig. 2.

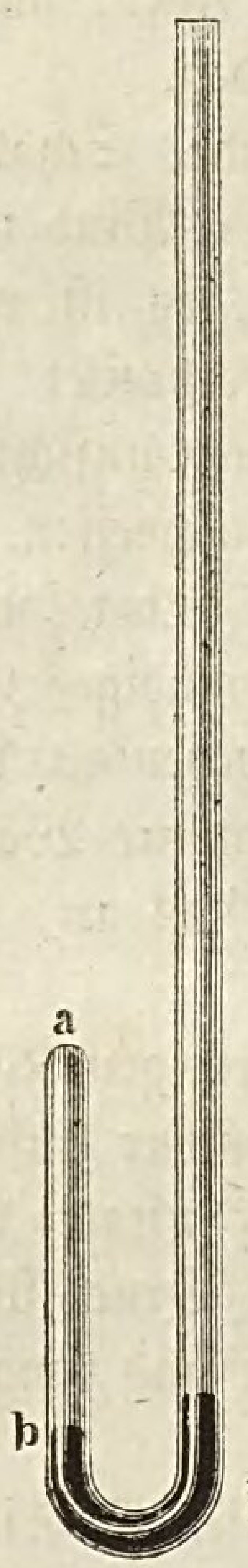
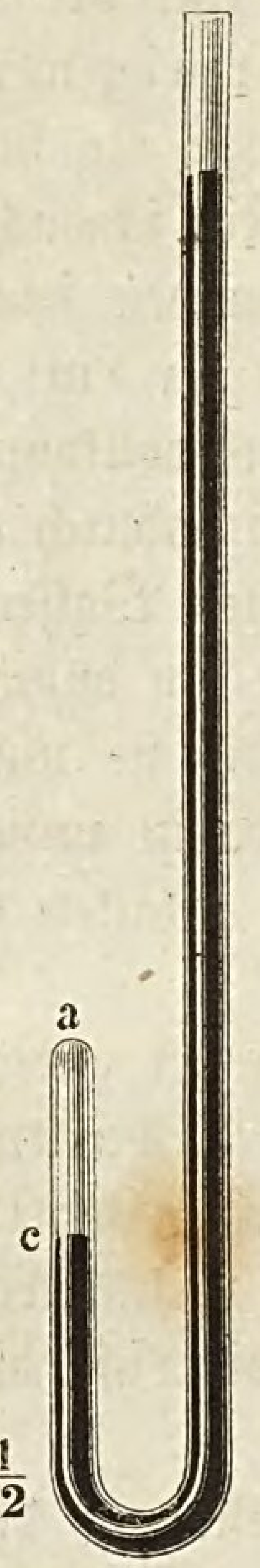


Fig. 3.

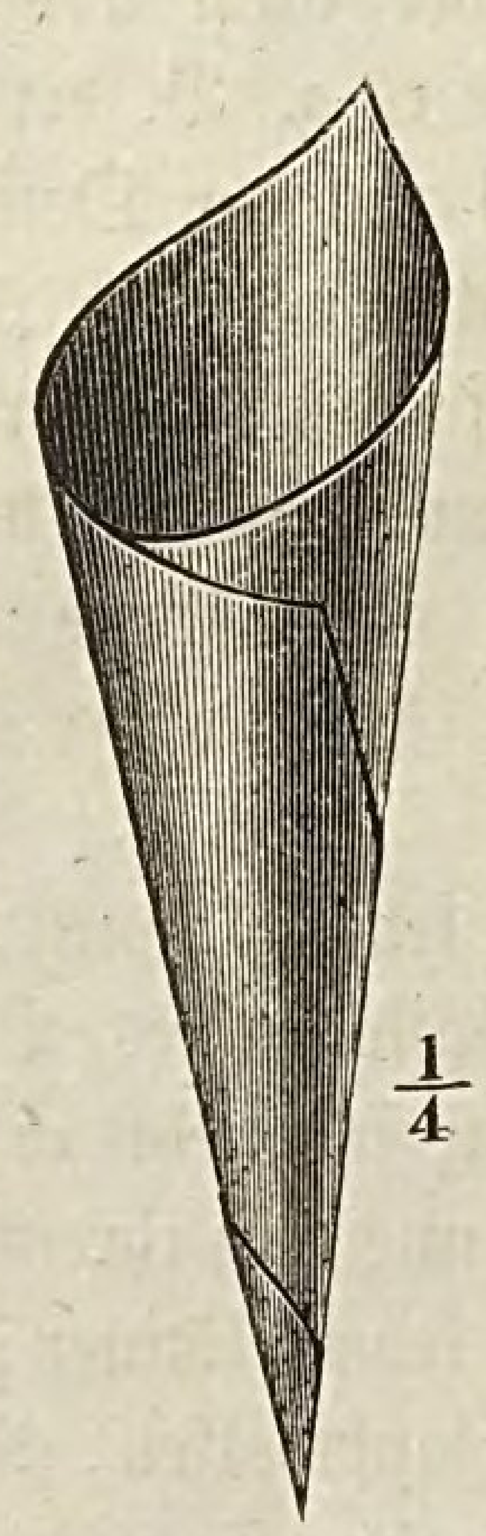


$\frac{1}{12}$

Wenn man in eine heberförmig gebogene Glasröhre (Fig. 2), deren kürzerer Schenkel oben zugeschmolzen ist, etwas Quecksilber eingießt, wie es die Figur andeutet, so ist eine bestimmte Luftmenge abgesperrt, welche in dem cylindrischen Rohre die Länge *ab* einnimmt. Gießt man nun in den längeren, oben offenen Schenkel noch weiter Quecksilber ein[1]), so wird die abgesperrte Luft durch das Gewicht der aufgegossenen Quecksilbersäule mehr und mehr zusammengedrückt (comprimirt). Durch allmäliges Zugießen von Quecksilber kann man es z. B. leicht dahin bringen, daß die abgesperrte Luft nur noch die Hälfte ihres ursprünglichen Raumes einnimmt, daß sie in dem zugeschmolzenen Schenkel unserer Glasröhre nur noch die Länge *ac* (Fig. 3) einnimmt, welche halb so groß ist, wie *ab*.

Wäre der oben offene Schenkel lang genug, so könnte man durch fortgesetztes Eingießen von Quecksilber die abgesperrte Luft auf $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ u. s. w. ihres ursprünglichen Raumes (Volumens) zusammenpressen. In der That ist es auf diesem Wege gelungen, die Luft fast bis auf $\frac{1}{30}$ ihres ursprünglichen Volumens zu comprimiren. Durch andere Mittel, welche hier nicht besprochen werden können, hat man es aber dahin gebracht,

Fig. 4.



$\frac{1}{4}$

---

[1]) Um Quecksilber bequem und sicher in die Mündung des längeren Schenkels des Rohres (Fig. 2) einbringen zu können, bedient man sich eines zu einer feinen Spitze ausgezogenen kleinen Glastrichters oder eines Papiertrichters, wie ihn Fig. 4 darstellt. Er muß aus steifem festem Papier gemacht sein, und der größeren Sicherheit wegen kann man die Papierlagen, welche die Spitze des Trichters bilden, mit flüssigem Leim oder einer Lösung von Gummi arabicum auf einander kleben. Es schadet nichts, wenn die Spitze anfangs ganz geschlossen ist, man hat dann nur eben das unterste Spitzchen abzuschneiden, um eine Oeffnung von entsprechender Größe zu erhalten.

abgesperrte Luftmassen selbst auf weniger als $^1/_{100}$ ihres ursprünglichen Volumens zu comprimiren.

Wenn in dem kürzeren Schenkel der gebogenen Röhre (Fig. 2) eine gewisse Luftmenge abgesperrt ist und in beiden Schenkeln (was durch einiges Drehen und Wenden leicht zu erreichen ist) das Quecksilber gleich hoch steht, so ist die abgesperrte Luftsäule *ab* keineswegs ohne Druck, sie hat den Druck der Atmosphäre auszuhalten, welcher auf dem Quecksilberspiegel des offenen Schenkels lastet und von welchem später noch ausführlicher die Rede sein soll. Wird nun aber der Druck der Atmosphäre, unter welchem eben die abgesperrte Luftsäule *ab* steht, vermindert, so muß sie sich ausdehnen. Es läßt sich dies in folgender Weise leicht zeigen:

Man gieße in den offenen Schenkel der Röhre (Fig. 2), nachdem man alles Quecksilber ausgegossen hat, so viel Wasser (am besten gefärbtes), daß es den längeren Schenkel ungefähr bis zu $^1/_3$ seiner Höhe füllt, so wird in dem kurzen Schenkel eine Luftsäule abgesperrt sein, welche außer den Druck der Atmosphäre noch den Druck einer kleinen Wassersäule zu tragen hat, der aber weit geringer ist als der Druck einer gleich hohen Quecksilbersäule.

Saugt man nun mit dem Munde an dem offnen Ende des längeren Schenkels, so wird dadurch etwas Luft aus demselben herausgezogen und so der Druck vermindert, dem die im kürzeren Schenkel abgesperrte Luft ausgesetzt ist; sie dehnt sich aus und entweicht zum Theil in Form von Luftblasen durch die Wassersäule des längeren Schenkels. Entfernt man dann wieder den Mund von der Oeffnung der Röhre, so steigt der Wasserspiegel im geschlossenen Schenkel ungefähr bis zu $^1/_3$ seiner Höhe, so daß die abgesperrte Luft nun gegen $^2/_3$ des geschlossenen Schenkels ausfüllt. Diese Luftmasse dehnt sich nun jedesmal aus, wenn man an dem offenen Schenkel des Rohres saugt, um sich wieder auf ihr vorheriges Volum zurückzuziehen, wenn man in die Oeffnung des längeren Schenkels die Luft wieder frei eintreten läßt.

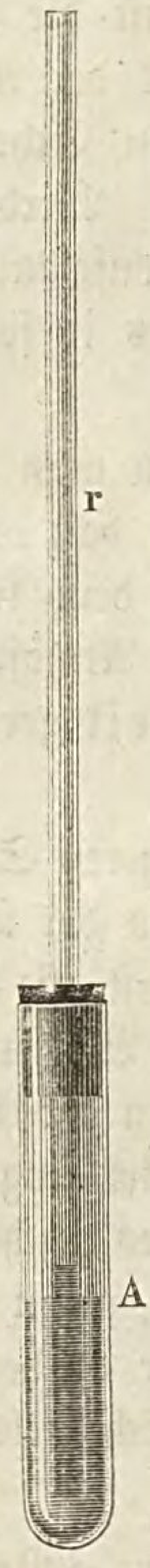
Dieser Versuch läßt sich auch noch in etwas abgeänderter Form anstellen: Man gieße ein etwas weites Reagenzröhrchen *A* (Fig. 5 a. f. S.) nahezu halb voll Wasser und schließe dann seine Oeffnung durch einen vollkommen passenden, gut einzudrückenden Kork, in welchem ebenfalls luftdicht schließend eine etwas längere, beiderseits offene Glasröhre *r* steckt, deren unteres Ende fast bis auf den Boden des Röhrchens *A* hinabreicht. Saugt man nun mit dem Munde am oberen Ende der Röhre *r*, so steigt das Wasser in derselben, während die Luft im oberen Theile des Röhrchens *A* sich ausdehnt und der Wasserspiegel außerhalb *r* sinkt.

Wiederholt man den Versuch in der Weise, daß man das Röhrchen *A* vollständig mit Wasser füllt, so wird man durch Saugen am oberen Ende der Röhre *r* kein Steigen der Wassersäule in derselben erzielen können, ein Beweis, daß das Wasser bei Verminderung des auf ihm lastenden Druckes sich nicht in der Weise ausdehnt, welche wir soeben bei der Luft kennen lernten.

Wenn man eine Luftpumpe zur Verfügung hat, so kann man die Ausdehnung der Luft bei abnehmendem Druck auch in folgender Weise anschaulich machen.

Auf Messen und Märkten werden jetzt häufig kleine Luftballons verkauft, deren Hülle aus ganz dünnem, rothgefärbtem Kautschuk besteht und welche mit Wasserstoffgas gefüllt sind. Wenn ein solcher Kautschukballon nicht aufgeblasen ist, hat er nur eine geringe Größe und ein runzeliges Ansehen, wie Fig. 6 zeigt. Wenn man nun den Hals eines solchen kleinen Ballons durch ein Korkstöpfchen verschließt, das Kautschuk des Halses mit Zwirn fest auf das Korkstöpfchen aufbindet und zum Ueberfluß noch die verschlossene Mündung mit Siegellack überzieht, so ist im Inneren des Ballons eine bestimmte Quantität Luft abgesperrt. Man könnte nun wohl meinen, diese so abgesperrte Luft habe gar keinen Druck auszuhalten; das ist aber nicht der Fall. Wie später gezeigt werden soll, lastet auf dem Ballon der Druck der Atmosphäre und dieser Druck hindert, daß sich die im Ballon eingeschlossene geringe Luftmenge weiter ausdehnt.

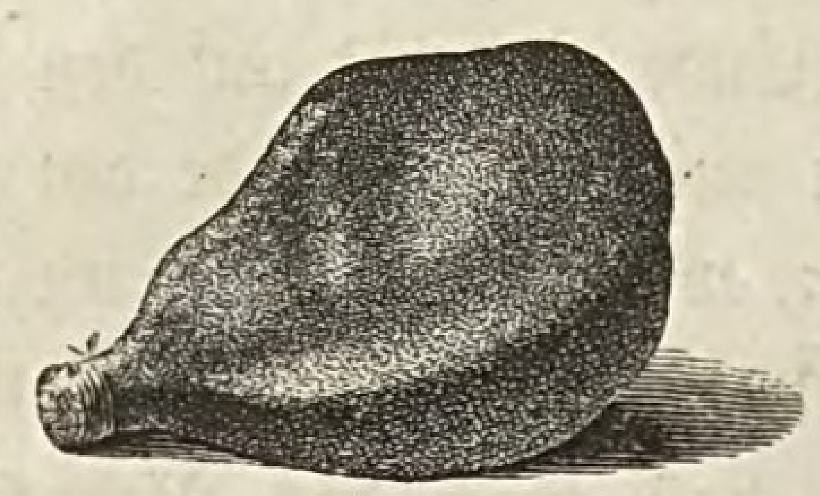
Fig. 5.



Legt man einen so präparirten Kautschukballon, welcher ungefähr das Ansehen Fig. 6 hat, unter die Glocke der Luftpumpe, über welche später noch das Nöthige gesagt werden soll, so kann man mit Hülfe dieses Instrumentes den größten Theil der Luft, welcher sich unter der Glocke befindet, und dadurch auch zum Theil den Luftdruck entfernen, welcher auf dem Ballon lastet; in Folge dessen dehnt sich dieser mehr und mehr aus, so daß er das Ansehen Fig. 7 annimmt, weil sich die im Ballon eingeschlossene Luft auf das Doppelte, Dreifache, Vierfache u. s. w. ihres ursprünglichen Volumens ausdehnt.

Die Lufttheilchen zeigen also ein Bestreben, sich mehr und mehr von einander zu entfernen, so weit als möglich aus einander zu fahren und nur durch äußeren Druck kann diesem Bestreben, dieser **Expansionskraft** (Ausdehnungskraft) entgegengewirkt werden. In dem aufgeblähten Ballon, Fig. 7, ist es vorzugsweise der Widerstand der stark angespannten Kautschukhülle, welche einer noch weiteren Ausdehnung entgegen wirkt. Läßt man die Luft unter die Glocke der Luftpumpe wieder eintreten, so schrumpft der Ballon wieder zusammen.

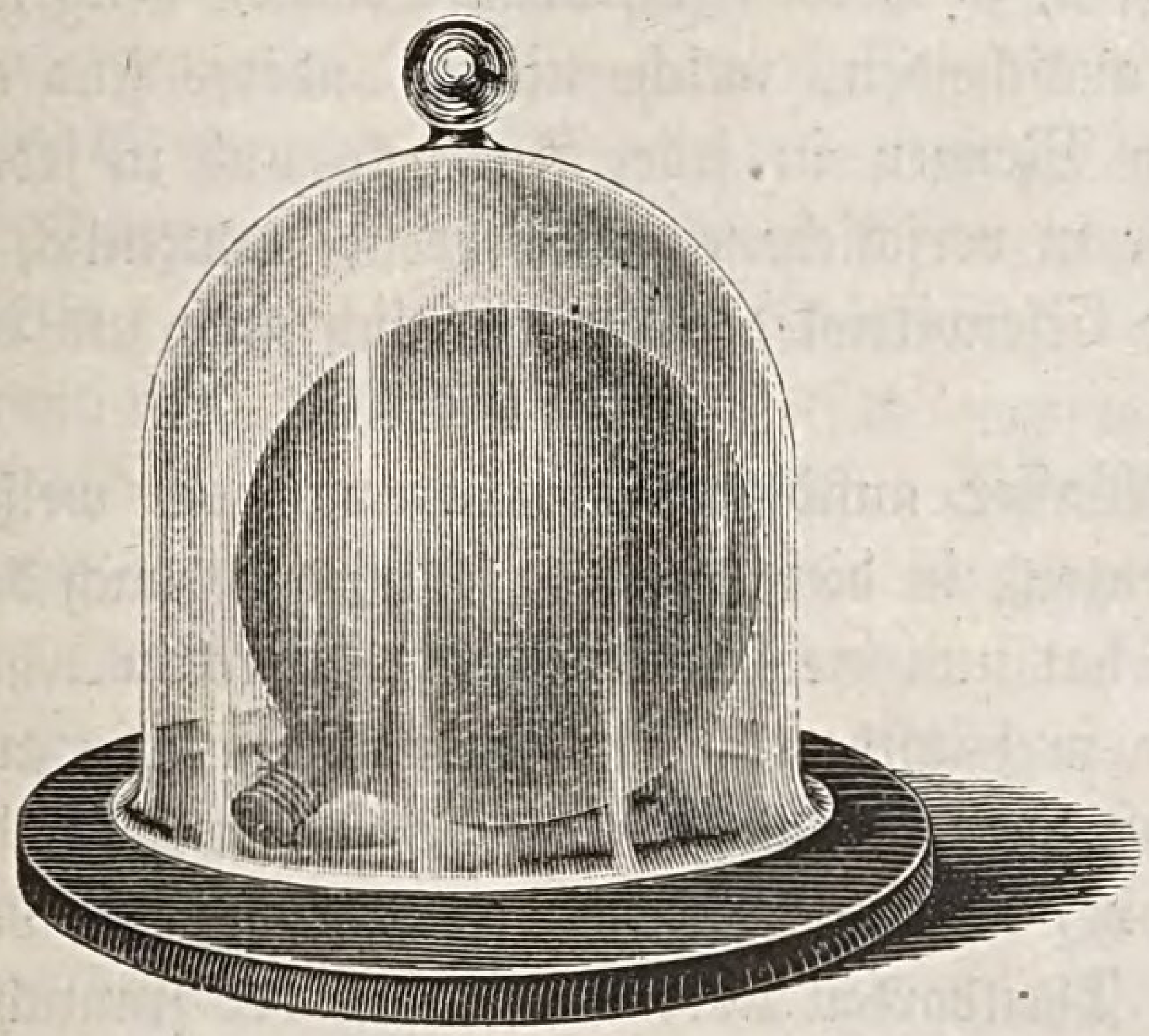
Fig. 6.



Die Urtheilchen. Nachdem wir
4 die drei **Zusammenhangsformen** (**Aggregatzustände**, wie man sie mit einem lateinischen Namen bezeichnet), in welchen die verschiedenen Stoffe in der Natur vorkommen, kennen gelernt haben, nachdem wir also gesehen haben, daß ein Körper entweder **fest** oder **tropfbar flüssig** oder **luftförmig** ist, müssen wir uns noch einmal zu der Betrachtung der **Theilbarkeit** wenden.

Beim Wasser haben wir uns überzeugt, daß die Theilbarkeit wirklich über die Grenzen der sinnlichen Wahrnehmung hinausgeht, d. h., daß das Wasser sich in so kleine Theilchen zerlegen läßt, daß wir sie einzeln für sich nicht mehr unterscheiden können. Es ist nun die Frage, ob dies wirklich auch für alle übrigen Stoffe wahr ist?

Fig. 7.



Von einem Stück Eisen können wir zunächst durch die Feile kleine Partikelchen abtrennen, und wenn wir eine recht feine Feile nehmen, so bekommen wir auf diese Weise wirklich sehr fein vertheiltes Eisen. Wie aber sollen wir diese Feilspähnchen, die wir einzeln noch sehr wohl mit dem Auge unterscheiden können, noch weiter verkleinern?

Mit Hammer, Feile, Säge, Bohrer u. s. w., also mit mechanischen Hülfsmitteln, können wir freilich hier nichts weiter ausrichten und es scheint fast, als ob wir wirklich an der Gränze der Theilbarkeit des Eisens angekommen seien, als ob diese immer noch sehr wohl unterscheidbaren Eisentheilchen sich nicht weiter zerkleinern ließen. Wir können ihnen aber auf eine andere Weise beikommen. In ein ungefähr 18 Centimeter langes und 17 bis 20 Millimeter weites Glasröhrchen (Reagenzröhrchen) bringe man ungefähr 1 Gramm (etwa eine Prise, wie man sie mit drei Fingerspitzen herausgreifen kann) möglichst reiner Eisenfeilspähne und gieße darauf verdünnte Schwefelsäure[1]), bis das Röhrchen ohngefähr bis zu $^4/_5$ seiner Länge gefüllt ist. Man sieht alsbald Gasbläschen von den Feilspähnen aufsteigen und um diese Gasentwickelung zu befördern, hält man das untere Ende des Röhrchens vorsichtig über die Flamme eines Weingeistlämpchens oder man fährt vielmehr mit dem Röhrchen über der Flamme hin und her. Ist die Gasentwickelung recht lebhaft, so kann man das Röhrchen auf einige Zeit von der Flamme entfernen, um es wieder darüber zu halten, wenn die Gasentwickelung merklich nachläßt.

Fährt man auf diese Weise ungefähr $^1/_4$ Stunde lang fort, so ist nun alle Eisenfeile verschwunden, das Eisen ist vollständig in der Flüssigkeit aufgelöst, welche nun eine grünliche Färbung angenommen hat. Oben schwimmt auf der Flüssigkeit ein schwarzer schmieriger Schaum, welcher von unvermeidlichen Unreinigkeiten herrührt. Um die Flüssigkeit von diesem Schmutze zu befreien, filtrirt man sie durch Löschpapier.

In der filtrirten hellgrünen Flüssigkeit ist nun alles Eisen enthalten, welches

---

[1]) Um solche zu erhalten, gieße man zu ungefähr 50 Kubikcentimetern Wasser 8 Kubikcentimeter Vitriolöl, aber nicht auf einmal, sondern in drei bis vier Abtheilungen, nachdem man jedesmal vorher das Gemenge mit einem Glas- oder Holzstäbchen gehörig umgerührt hat, weil sonst eine zu starke Erhitzung eintritt.

man anfangs in Form von Feilspähnen in das Röhrchen geworfen hatte; in der vollkommen klaren Flüssigkeit kann man aber in keiner Weise mehr die einzelnen Eisentheilchen unterscheiden.

Dampft man nun die filtrirte Flüssigkeit in einem Reagenzröhrchen ungefähr noch auf $^2/_3$ ihres Rauminhaltes ein, so werden sich beim Erkalten hellgrüne Kryställchen von salzartigem Ansehen ausscheiden, welche nichts anderes sind als Eisenvitriol, den man in größeren Mengen in jeder Apotheke und in jedem Materialladen kaufen kann und welcher in verschiedenen Gewerben, namentlich in der Färberei, Anwendung findet. Der Eisenvitriol dient bekanntlich auch zur Bereitung der Tinte.

Eisenvitriol läßt sich leicht in Wasser auflösen. Taucht man ein weißes Läppchen von Leinen- oder Baumwollenzeug in diese Lösung, so wird es nach dem Trocknen gelb gefärbt erscheinen, es hat nun die Farbe der Rostflecken erhalten. Diese Rostflecken enthalten Eisen in feinstvertheiltem Zustande. Aber auch hier sind die Eisentheilchen so klein, daß sie das schärfste Auge selbst mit Hülfe der stärksten Vergrößerungsgläser (Mikroskope) nicht mehr einzeln zu unterscheiden vermag. Also auch beim Eisen geht die Theilbarkeit über die Grenze der sinnlichen Wahrnehmung hinaus.

Dasselbe läßt sich auch bei allen aus verschiedenen Stoffen (chemisch) zusammengesetzten Körpern darthun. Betrachten wir z. B. den Zinnober, welcher in Form eines prachtvoll rothen Pulvers allgemein bekannt ist. Dieser Zinnober ist zusammengesetzt aus Quecksilber und Schwefel. Das schärfste Mikroskop ist aber nicht im Stande, im Zinnober die Quecksilber- und Schwefeltheilchen einzeln sichtbar zu machen; also auch beim Schwefel und beim Quecksilber geht die Theilbarkeit über die Grenzen der sinnlichen Wahrnehmung hinaus.

Geht nun aber die Theilbarkeit ins Unendliche fort? Wir können uns davon keine rechte Vorstellung machen und aus vielfachen Gründen ist es wahrscheinlich, daß die Theilbarkeit aller Stoffe denn doch eine Grenze habe, daß die Körper der uns umgebenden Natur aus Theilchen bestehen, welche freilich so klein sind, daß sie einzeln der sinnlichen Wahrnehmung entgehen, welche aber nicht ferner theilbar sind, und welche die Naturforscher Atome (Nichttheilbare) nennen. Wir wollen statt dieses fremden Ausdrucks den Namen Urtheilchen anwenden. Diese Urtheilchen hat man sich aber nicht nur als untheilbar, sondern überhaupt als unveränderlich vorzustellen.

Bei den festen Körpern sind die Urtheilchen, aus denen sie zusammengesetzt sind, in (fast) unveränderlicher gegenseitiger Entfernung und (fast) unveränderlicher gegenseitiger Stellung. Selbst durch bedeutende Kräfte lassen sie sich nur kaum merklich zusammendrücken und sie setzen einer Trennung der Theilchen sowohl als einer Verschiebung derselben einen bedeutenden Widerstand entgegen.

Bei den tropfbar flüssigen Körpern bleiben die Urtheilchen zwar in (fast) unveränderlicher gegenseitiger Entfernung, selbst durch sehr bedeutende Kräfte lassen sie sich, gleich den festen Körpern, nur kaum merklich zusammendrücken, einer Trennung und gegenseitigen Verschiebung der Theilchen setzen sie aber nur einen ganz unbedeutenden Widerstand entgegen.

Bei den *luftförmigen Körpern* endlich ist auch der Abstand der Urtheilchen von einander sehr veränderlich; sie zeigen ein Bestreben, sich möglichst weit von einander zu entfernen, und nur durch äußere Kräfte können sie zusammengehalten werden.

Aus Gründen, von denen erst später die Rede sein kann, muß man annehmen, daß selbst bei festen und flüssigen Körpern die Urtheilchen nicht in unmittelbarer Berührung stehen, sondern daß sie durch Zwischenräume getrennt sind. — Die Entfernung der Urtheilchen bleibt aber für einen bestimmten Stoff nahezu dieselbe, mag er sich nun in festem oder flüssigem Zustande befinden, denn sein Rauminhalt (Volumen) ändert sich nur unbedeutend, wenn er aus dem einen Zustand in den anderen übergeht. Ein Pfund Blei nimmt nahezu den gleichen Raum ein, mag es nun fest oder geschmolzen sein, und eben so ist der Raum, den ein Pfund Wasser einnimmt, nur wenig kleiner als der Raum, den ein Pfund Eis ausfüllt. Beim Uebergang aus dem festen oder flüssigen Zustande in den *luftförmigen* findet aber eine sehr *bedeutende Ausdehnung* statt; bei gasförmigen Körpern ist also die Entfernung der Urtheilchen von einander bedeutend größer, als bei festen und flüssigen Körpern; ein Liter Wasser liefert 1700 Liter gesättigten Wasserdampfes von der Temperatur des Siedepunkts.

Die Gleichgewichtsgesetze der verschiedenen Zusammenhangsformen werden später noch ausführlicher besprochen werden und dann wird Manches noch seine Erläuterung finden, was hier vielleicht noch nicht ganz klar sein sollte.

Verschiedenheit der Urtheilchen. Die unendliche Mannig- 5
faltigkeit, in welcher uns die verschiedenen Stoffe der uns umgebenden Natur erscheinen, läßt sich aber durchaus nicht allein durch die Verschiedenheit der Zusammenhangsform erklären. — *Schwefel* und *Blei* sind beide unter den gewöhnlichen Umständen feste Körper, aber dennoch sind sie fast in allen ihren Eigenschaften durchaus verschieden. Ein Stück Blei ist $2\frac{1}{2}$ mal so schwer, als ein gleich großes Stück Schwefel. Das Blei ist *dehnbar*, wir können es durch Schläge mit dem Hammer ausstrecken, während der Schwefel *spröde* ist und unter den Schlägen des Hammers in Stücke zerspringt. Der Schwefel ist brennbar, das Blei ist es nicht. Zum Schmelzen des Bleies ist ein weit höherer Wärmegrad nöthig, als zum Schmelzen des Schwefels u. s. w.

Wie wir auch das Blei behandeln mögen, wir können es niemals in Schwefel und der Schwefel läßt sich eben in keiner Weise in Blei verwandeln.

Wasser und Weingeist sind beide farblose, durchsichtige Flüssigkeiten; das Wasser aber erstarrt in der Kälte zu Eis, der Weingeist gefriert nicht; das Wasser bedarf zum Sieden eines höheren Wärmegrades, als der Weingeist; der Weingeist ist brennbar, das Wasser ist es nicht.

Solche Verschiedenheiten nun, welche nicht in der ungleichen Zusammenhangsform ihren Grund haben, lassen sich nur durch die Annahme erklären, daß die Urtheilchen (Atome) verschiedener Stoffe an und für sich schon verschieden sind.

Giebt es nun aber verschiedenartige Urtheilchen (Atome), so wird es überhaupt solche Körper geben, welche aus *lauter gleichartigen Atomen* zusam-

mengesetzt sind, chemisch einfache Körper, Elemente, während andere Stoffe aus einer Verbindung verschiedenartiger Urtheilchen bestehen, chemisch zusammengesetzte Stoffe.

Elemente sind also solche Stoffe, welche sich nicht in verschiedenartige Bestandtheile zerlegen lassen, was bei den zusammengesetzten Stoffen möglich ist.

Die Elemente, deren man bis jetzt 62 kennt, zerfallen in zwei Hauptgruppen, die Metalle und die nicht metallischen Elemente, welche auch den Namen der Metalloide führen. Unter den metallischen Elementen sind allgemein bekannt:

Platin,	Kupfer,	Quecksilber,
Gold,	Blei,	Zinn,
Silber,	Eisen,	Zink u. s. w.

Bis auf das Quecksilber sind alle Metalle bei der gewöhnlichen Luftwärme feste Körper, nur das Quecksilber erstarrt erst bei großer Kälte.

Die wichtigsten der unter gewöhnlichen Umständen festen, nicht metallischen Elemente sind:

Schwefel,	Kohlenstoff,
Phosphor,	Silicium.

Mehrere nicht metallische Elemente sind in reinem Zustand, d. h. wenn sie nicht mit anderen Stoffen verbunden sind, stets luftförmig (gasförmig). Die bekanntesten und wichtigsten darunter sind:

Sauerstoff,	Stickstoff,
Wasserstoff,	Chlor.

Ueber Schwefel und Phosphor ist zunächst nichts weiter zu bemerken. Der Kohlenstoff kommt in sehr verschiedenen Formen vor, deren bekannteste wohl die gewöhnliche Holzkohle ist. Es ist dies fast reiner Kohlenstoff. Weit fester als Holzkohle ist der Kohlenstoff in Form von Graphit, dem Material, aus welchem unsere Bleistifte verfertigt werden; in reinster, festester Form aber bildet der Kohlenstoff den Diamant. Die Urtheilchen des Diamants sind ganz die gleichen, wie die der Holzkohle und des Graphits, der Unterschied beider liegt nur in der Zusammenhangsform.

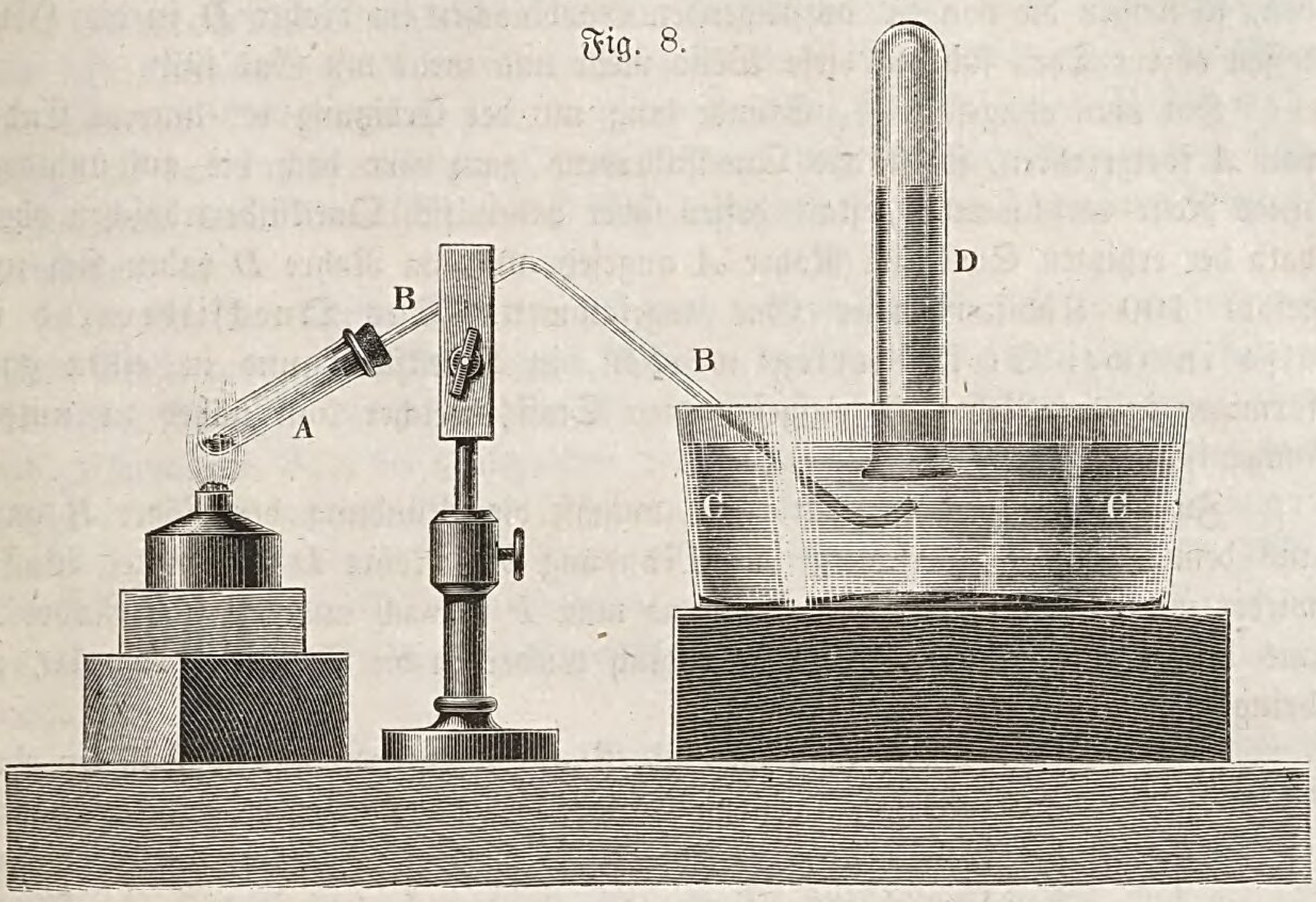
Indem wir eine etwas nähere Betrachtung der wichtigsten luftförmigen Elemente, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Chlor, auf später verschieben, haben wir zunächst die festen Verbindungen des Sauerstoffs mit Metallen zu betrachten.

6 **Zerlegung des Quecksilberoxyds.** Die Zerlegung chemisch zusammengesetzter Stoffe kann in verschiedenen Fällen auch auf verschiedene Weise bewerkstelligt werden: Eines der einfachsten und lehrreichsten Beispiele ist die Zerlegung des Quecksilberoxyds durch Wärme.

Das Quecksilberoxyd ist in jeder Apotheke zu haben. Je nach der Bereitungsweise bildet es ein rothes oder ein orangegelbes Pulver. Zu dem sogleich zu besprechenden Versuch wendet man gewöhnlich das wohlfeilere rothe Quecksilberoxyd an. Ungefähr 2 Gramm davon werden in ein Reagenzröhrchen, Fig. 8, gebracht dessen Mündung mittelst eines sehr gut schließenden Korkes

verschlossen ist, in welchem eine gebogene Glasröhre *B* steckt. Die Mündung dieser Röhre befindet sich ungefähr 2 Centimeter tief unter dem Spiegel des Wassers im Gefäße *C*. Wird nun das Quecksilberoxyd im unteren Ende des

Fig. 8.

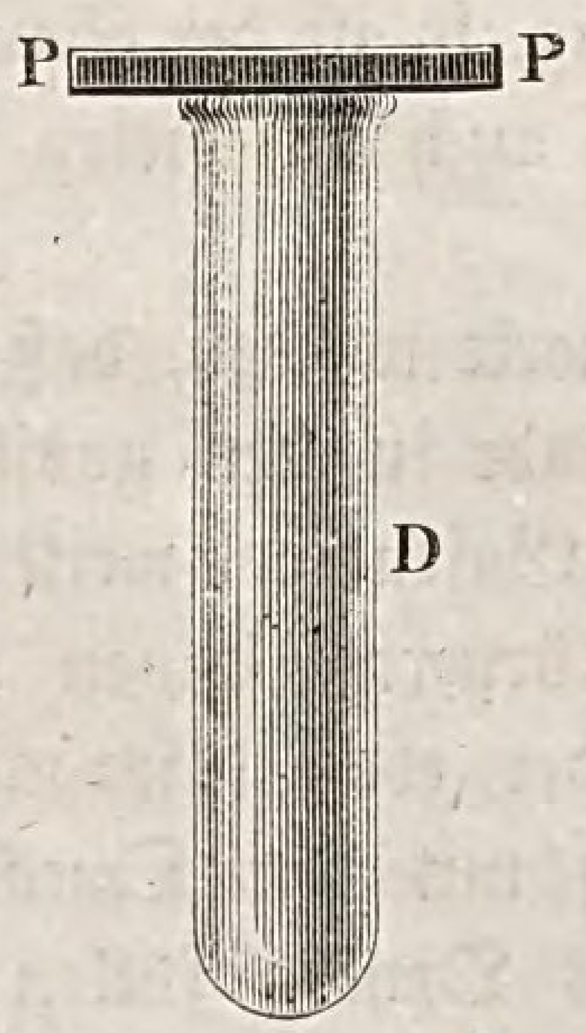


Röhrchens *A* durch eine untergestellte Weingeistlampe gehörig erwärmt, so wird zunächst das vorher rothe Pulver schwarz und alsbald sieht man Luftbläschen aus der Mündung der Röhre *B* aufsteigen. Die ersten dieser Gasblasen läßt man entweichen, alsdann aber schiebt man eine ganz mit Wasser gefüllte Glasröhre *D* von 25 bis 30 Millimeter Durchmesser und 20 bis 25 Centimeter Länge, welche von einem passenden (in der Figur weggelassenen) Stativ (Gestell) gehalten wird, über die Mündung der Röhre *B*. Statt der Röhre *D*, Fig. 8, kann man natürlich auch eine mit einem Fuß versehene gradirte Röhre, Fig. 9, anwenden.

Fig. 9.



Fig. 10.



Um die Mündung der mit Wasser gefüllten Röhre *D* unter den Spiegel des Wassers im Gefäße *C* unterzutauchen, verfährt man in folgender Weise:

Die, mit der Mündung nach oben, senkrecht gehaltene Röhre *D* wird ganz mit Wasser gefüllt und dann mit einer Glasplatte oder mit einer dicken Kautschukplatte *P*, Fig. 10, zugedeckt. Drückt man die Platte *P* mit den Fingern etwas gegen die Mündung an, so kann man nun die Röhre *D* umkehren, so daß die Mündung nach unten gekehrt ist, ohne daß das Wasser ausläuft. Bringt man nun die mittelst der Platte *P* geschlossene

Mündung der Röhre *D* unter den Wasserspiegel im Gefäße *C*, so kann man alsdann die Platte *P* entfernen, ohne daß das Wasser aus *D* herauslaufen kann.

Hat man die mit Wasser gefüllte Röhre *D* über die Mündung von *B* geschoben, so steigen die von da aufsteigenden Gasbläschen im Rohre *D* in die Höhe, dessen oberer Theil sich auf diese Weise mehr und mehr mit Gas füllt.

Hat man ohngefähr $^1/_4$ Stunde lang mit der Erhitzung des unteren Endes von *A* fortgefahren, so ist das Quecksilberoxyd ganz oder doch bis auf unbedeutende Reste verschwunden, statt dessen aber haben sich Quecksilbertröpfchen oberhalb der erhitzten Stelle im Rohre *A* angesetzt und im Rohre *D* haben sich ungefähr 100 Kubikcentimeter Gas angesammelt. Das Quecksilberoxyd ist also in zwei Stoffe zerlegt worden, in Quecksilber und in einen gasförmigen in der Röhre *D* aufgefangenen Stoff, welcher nun näher zu untersuchen ist.

Zu diesem Zweck entfernt man zunächst die Mündung der Röhre *B* ganz aus dem Gefäße *C*, verschließt die Mündung der Röhre *D* noch unter Wasser wieder mit der Platte *P*, hebt, während man *P* schwach andrückt, die Röhre *D* aus dem Gefäß *C* heraus, um sie endlich wieder in die Stellung, Fig. 10, zu bringen.

Fig. 11.



Wenn man nun die Platte *P* entfernt und sogleich ein eben angezündetes, an einem Drahte, Fig. 11, hängendes Stückchen Zunder in das Rohr *D* einsenkt, so wird die Verbrennung des vorher nur schwach roth glimmenden Zunders so lebhaft, daß er aufflammend ein blendend weißes Licht aussendet.

Dem aus dem Quecksilberoxyd entwickelten Gase haben die Chemiker den Namen Sauerstoff gegeben. Die Verbrennung ist nichts anderes als eine unter Entwickelung von Licht und Wärme vor sich gehende Verbindung eines Stoffes mit Sauerstoff. In reinem Sauerstoffgas geht die Verbrennung deshalb lebhafter vor sich als in gewöhnlicher Luft, weil die Luft ein Gemenge von 1 Maaßtheil Sauerstoffgas mit 4 Maaßtheilen eines anderen Gases ist, welches den Namen Stickstoff führt und von welchem später noch die Rede sein soll.

Wie zur Verbrennung, so ist der Sauerstoff auch zum Leben von Menschen und Thieren unentbehrlich; auch auf diesen Punkt werden wir später noch zurückkommen.

Es ist bereits oben auf Seite 9 bemerkt worden, daß ein Stoff beim Uebergang aus dem festen oder flüssigen Zustande in den gasförmigen sich ungemein stark ausdehnt, daß also die Urtheilchen in Gasen viel weiter von einander entfernt sein müssen als in festen und flüssigen Körpern. Einen recht anschaulichen Beweis für diese Behauptung liefert uns der eben besprochene Versuch. In dem rothen Quecksilberoxyd ist der Sauerstoff mit dem Quecksilber zu einem festen Körper verbunden. Zwei Gramm dieses Oxydes füllen in Form eines losen Pulvers ungefähr einen kleinen Hohlwürfel von 1 Kubikcentimeter Inhalt aus, der in 2 Gramm Quecksilberoxyd enthaltene Sauerstoff nimmt also in dieser Verbindung nur den Raum eines kleinen Bruchtheils eines Kubikcentimeters ein,

während er aus dieser Verbindung ausgetrieben, in Gasform einen Raum von mehr als 100 Kubikcentimetern ausfüllt.[1])

Gewichtszunahme durch Verbindung mit Sauerstoff. 7

Da das pulverförmige Quecksilberoxyd aus einer Verbindung von Quecksilber und Sauerstoff besteht, so ist klar, daß eine gegebene Portion dieses Stoffes mehr wiegt als das darin enthaltene Quecksilber und daß eine Gewichtszunahme stattfinden muß, wenn Quecksilber durch Aufnahme von Sauerstoff in Quecksilberoxyd verwandelt wird.

In ähnlicher Weise verbinden sich auch andere Metalle mit Sauerstoff und bilden Stoffe von mehr erdartigem Ansehen, welche den Namen Oxyde führen. So bildet sich z. B. das unter dem Namen Bleiglätte bekannte Bleioxyd, wenn das geschmolzene Blei bei genügendem Luftzutritt einer erhöhten Temperatur ausgesetzt wird. Wenn man Zink in einer eisernen Schale durch eine hinlänglich starke Flamme schmilzt, so überzieht es sich alsbald mit einer lockeren gelben Masse, welche beim Erkalten weiß wird. Es ist dies nichts anderes als Zinkoxyd, eine Verbindung von Zink mit Sauerstoff, welche auch als Zinkweiß bekannt ist.

Der Chemiker kann nun allerdings leicht nachweisen, daß eine bestimmte Gewichtsmenge Bleiglätte mehr wiegt als das darin enthaltene Blei. Dasselbe gilt auch vom Zinkoxyd. Mit ganz einfachen elementaren Hülfsmitteln dürfte es aber schwierig sein, für Blei und für Zink nachzuweisen, daß die Verbindung des Metalls mit Sauerstoff von einer Gewichtszunahme begleitet ist. Um diese wichtige Thatsache anschaulich zu machen, läßt sich der folgende Versuch anstellen.

An dem einen Arme einer gewöhnlichen, aber guten Wage hängt man einen Hufeisenmagnet[2]) so über der entsprechenden Wagschale auf, wie Fig. 12 (a. f. S.) zeigt. Bringt man nun eine Parthie feinen Eisenpulvers, wie es unter dem Namen limatura ferri in der Apotheke käuflich zu haben ist, und welche man auf einem Papierstreifen ausgebreitet hat, von unten her mit den Polen des Magnets in Berührung, so bleibt ein Bündel des Eisenpulvers an demselben hängen, zum Theil eine Brücke zwischen den beiden Magnetpolen bildend.

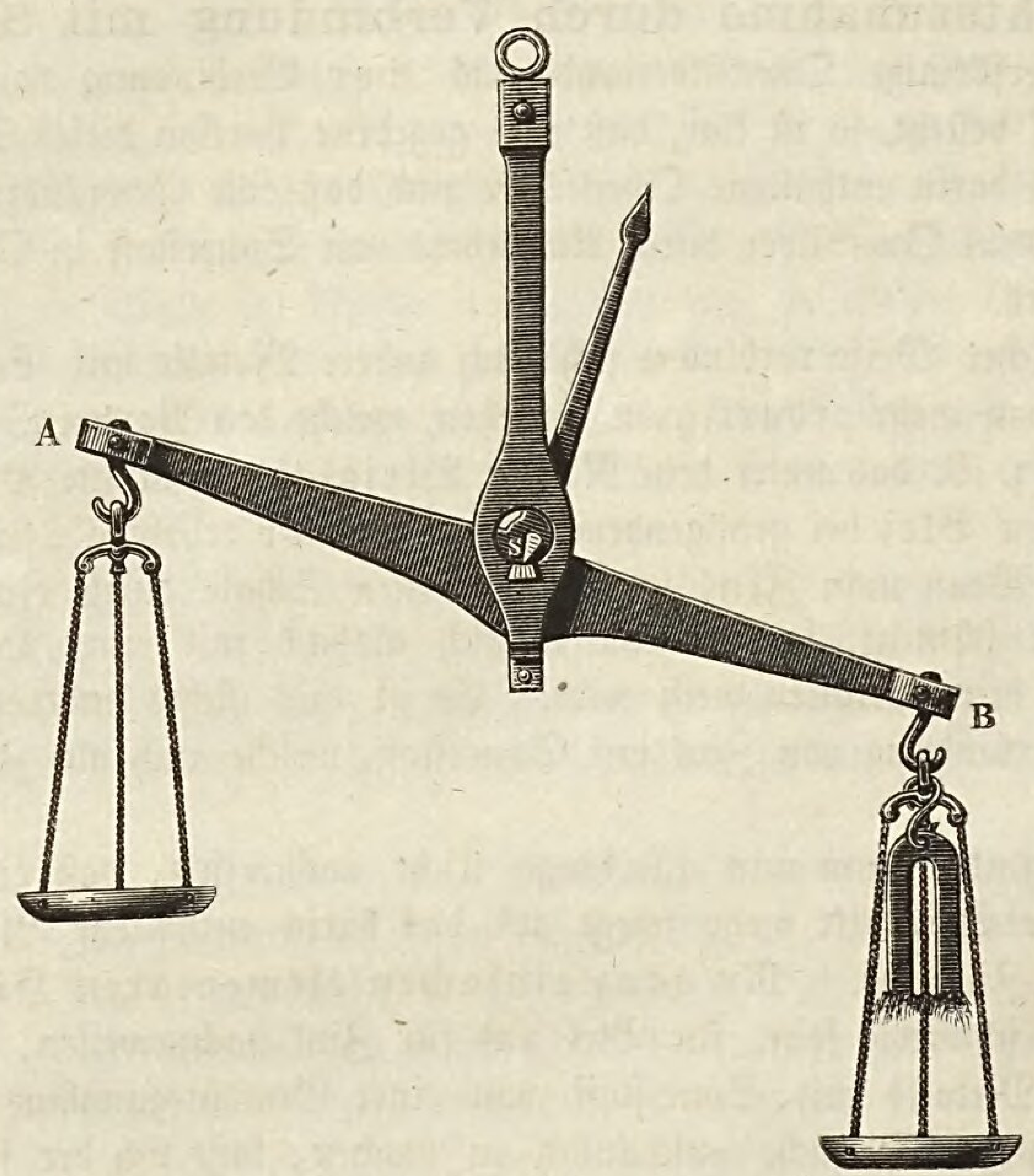
---

[1]) Damit die Entwickelung von Sauerstoff aus Quecksilberoxyd sicher gelingt, muß das Glasröhrchen *A*, Fig. 8, aus schwer schmelzbarem Glase gemacht sein, weil Röhrchen aus gewöhnlichem Glase leicht durchschmelzen. Ferner muß der Kork, welcher das Röhrchen *A* schließt, und in welchem die gebogene Röhre *B* steckt, vollkommen schließen, weil sonst hier das Gas entweicht und aus *B* keine Gasblasen aufsteigen. Der Versuch ist zwar keineswegs schwierig, sein Gelingen erfordert aber immerhin einige Uebung. Wo diese Uebung oder wo die nöthigen Apparate fehlen, wird es gerathen sein, die Hülfe des Apothekers in Anspruch zu nehmen.

[2]) Einen solchen Magnet, dessen Schenkel ungefähr 100 mm lang und 20 mm breit sind, während sie um 30 mm von einander abstehen, läßt man am besten für wenige Groschen aus einem Stück ungefähr 2 mm dicken Stahlblechs anfertigen. Zu unserem Zweck braucht der Magnet durchaus nicht sorgfältig bearbeitet, er braucht nicht glatt gefeilt und polirt zu sein. Nachdem derselbe möglichst gut gehärtet ist, muß er durch Streichen an einem Elektromagnet magnetisirt werden.

Nachdem nun so der Büschel von Eisenpulver gebildet ist, wird auf der anderen Wagschale so viel Tarirgewicht aufgelegt, daß der Wagebalken genau wage-

Fig. 12.



recht steht. Sollte nun auch während der folgenden Operation etwas von dem Eisenpulver herunterfallen, so wird dadurch das Gleichgewicht nicht gestört, weil es auf die unter dem Magnet befindliche Wagschale fällt.

Dieses am Magnet anhängende Bündel Eisenpulver brennt nun für sich ohne Weiteres langsam fort, wenn man es einmal, etwa mit Hülfe eines Streichhölzchens angezündet hat. Während aber das Eisenpulver am Magnet langsam fortglimmt, senkt sich der Arm des Wagebalkens, an welchem der Magnet hängt, tiefer und tiefer, wie Fig. 12 andeutet, ein Beweis, daß während des Glimmens das Gewicht des anhängenden Eisenpulvers zunimmt, was lediglich daher rührt, daß das glühende Eisenpulver allmälig mehr und mehr Sauerstoff aufnimmt.

Bei einem derartigen Versuch mußte man, als nach einiger Zeit die bis dahin langsam fortglimmende Masse erloschen war, auf die Wagschale der anderen Seite $1/2$ Gramm auflegen, das brennende Eisenpulver hatte also $1/2$ Gramm Sauerstoff aufgenommen.

Da das Eisen, das Blei, das Zink u. s. w., kurz alle Metalle bei ihrer Oxydation, d. h. bei ihrer Verbindung mit Sauerstoff, denselben aus der Luft aufnehmen, so ist klar, daß der Sauerstoff in der Luft enthalten sein muß. Ohne den Sauerstoffgehalt der Luft wäre Verbrennung und der Athmungsprozeß der Menschen und Thiere, welcher, wie wir sehen werden, auf einer langsamen Verbrennung beruht, unmöglich.

Die Oxyde der schweren Metalle. Die Oxyde der schweren Metalle 8
sind sämmtlich feste, oft pulverförmige, erdartige, in Wasser nicht auflösliche Stoffe. Bei diesen Stoffen aber ist es besonders zu bemerken, daß die Verbindung immer in einem festen Verhältnisse vor sich geht. Allerdings kann sich ein und dasselbe Metall in mehreren Verhältnissen mit Sauerstoff verbinden, d. h. für dasselbe Metall giebt es mehrere Oxydationsstufen, für jede Oxydationsstufe aber ist das Metall mit einer bestimmten Menge Sauerstoff verbunden. Beispiele werden dies klarer machen.

Die Bleiglätte, Bleioxyd, enthält auf 104 Gewichtstheile Blei nur 8 Gewichtstheile Sauerstoff.

Mit 8 Gewichtstheilen Sauerstoff verbinden sich aber stets entweder $31\frac{1}{2}$ oder $2 \cdot 31\frac{1}{2} = 63$ Gewichtstheile Kupfer.

In solchen Fällen, wo sich ein Metall in zwei oder mehreren bestimmten Verhältnissen mit Sauerstoff verbindet, unterscheidet man die höheren und niederen Oxydationsstufen mit den Namen Oxyd und Oxydul. So bilden 63 Kupfer mit 8 Sauerstoff 71 Kupferoxydul und $31\frac{1}{2}$ Kupfer mit 8 Sauerstoff $39\frac{1}{2}$ Kupferoxyd.

Unter den verschiedenen Verbindungen des Eisens mit Sauerstoff wollen wir hervorheben:

Eisenoxydul, 28 Eisen mit 8 Sauerstoff,
Eisenoxyd, 56 Eisen mit 24 ($24 = 3 \cdot 8$) Sauerstoff,
oder auch 28 Eisen mit 12 Sauerstoff.

Das Zinkoxyd, ein weißer pulverförmiger Körper, welcher unter dem Namen Zinkweiß öfters zum Anstrich gebraucht wird, enthält $32\frac{6}{10}$ Gewichtstheile Zink auf 8 Gewichtstheile Sauerstoff.

Die Erscheinung, daß die eben betrachteten chemischen Verbindungen immer nur in bestimmten Verhältnissen vor sich gehen, erklärt sich ganz leicht aus der einfachen Annahme, daß immer je 1 Atom (Urtheilchen) Metall mit 1 Atom Sauerstoff, oder je 1 Atom Metall mit 2 Atomen Sauerstoff oder je 2 Atome Metall mit 1 Atom Sauerstoff u. s. w. in nähere Verbindung mit einander treten.

Betrachten wir Bleiglätte als eine Verbindung, in welcher immer je 1 Urtheilchen Sauerstoff mit 1 Urtheilchen (Atom) Blei verbunden ist, so würde sich demnach das Gewicht von 1 Urtheilchen Sauerstoff zum Gewicht von 1 Urtheilchen Blei verhalten wie 8 zu 104, 1 Atom Blei wäre demnach 13 mal schwerer, als 1 Atom Sauerstoff.

Da sich die nämliche Sauerstoffmenge, nämlich 8 Gewichtstheile Sauerstoff mit $31\frac{1}{2}$ Gewichtstheilen Kupfer zu Kupferoxyd verbinden, so verhält sich das Gewicht von 1 Urtheilchen Sauerstoff zum Gewicht von 1 Urtheilchen Kupfer, wie 8 zu $31\frac{1}{2}$; 1 Atom Kupfer ist beinahe 4 mal so schwer als 1 Atom Sauerstoff.

Die Verbindung von 63 Kupfer und 8 Gewichtstheilen Sauerstoff enthält stets 2 Atome Kupfer auf 1 Atom Sauerstoff.

Im Eisenoxydul kommt 1 Atom Sauerstoff auf 1 Atom Eisen, im Eisenoxyd aber sind stets 2 Atome Eisen mit je 3 Atomen Sauerstoff verbunden.

Der Rost ist nichts anderes, als eine Verbindung von Eisenoxyd mit Wasser; er bildet sich, wenn Eisen mit Luft und Wasser in Berührung kommt.

9 **Die Bindungsgewichte.** Die Chemiker nennen die Zahlen, welche angeben, nach welchem Gewichtsverhältnisse die verschiedenen Urstoffe mit einander zu chemischen Verbindungen zusammentreten, chemische Aequivalente (Aequivalent heißt wörtlich soviel wie gleichwerthig). Wir wollen dafür den Ausdruck Verbindungsgewicht oder kürzer Bindungsgewicht annehmen.

Da es sich hier um Verhältnißzahlen handelt, so ist es gleichgültig, welchen Stoff man zum Ausgangspunkt dieser Vergleichung wählt, nur muß man immer die Bindungsgewichte der verschiedenen Stoffe auf dieselbe Einheit beziehen. —

Wir werden bald sehen, daß das Bindungsgewicht des Wasserstoffs das kleinste von allen ist und deßhalb wählt man es zur Einheit. Im Wasser ist stets 1 Gewichtstheil Wasserstoff mit 8 Gewichtstheilen Sauerstoff verbunden, nehmen wir demnach 1 für das Bindungsgewicht des Wasserstoffs (wie es in der That allgemein geschieht), so ist 8 das Bindungsgewicht des Sauerstoffs und $1 + 8 = 9$ das Bindungsgewicht des Wassers.

Weiter unten werden wir sehen, wie sich die verschiedenen Metalloxyde weiter mit Säuren verbinden.

10 **Edle und unedle Metalle.** Man theilt die verschiedenen Metalle in edle und unedle ein. Zu den edlen Metallen gehören Platin, Gold und Silber, zu den unedlen aber Eisen, Blei, Zinn, Zink, Kupfer u. s. w. Quecksilber steht zwischen den genannten Gruppen gewissermaßen in der Mitte.

Die unedlen Metalle verbinden sich leicht mit Sauerstoff, sie oxydiren sich leicht, sie haben also, wie die Chemiker sagen, eine große Verwandtschaft zum Sauerstoff. Daher kommt es denn auch, daß glänzend polirte Stücke unedler Metalle in Berührung mit Luft und namentlich an feuchter Luft ihren Glanz verlieren, indem sie sich alsbald mit einer Oxydschicht überziehen, während die edlen Metalle ihren Glanz behalten. Daher kommt es ferner, daß man in der Natur die edlen Metalle meist gediegen, d. h. in metallischem Zustande, findet, während die unedlen Metalle meist nur vererzt, d. h. mit Sauerstoff oder mit Schwefel chemisch verbunden, gefunden werden. Das Eisen z. B., welches massenhaft zu allerlei im täglichen Leben gebrauchten Werkzeugen (Messern, Beilen, Nägeln, Zangen, Radreifen, Pflugscharen, Schlössern und Schlüsseln 2c. 2c.), gebraucht wird, findet sich nicht metallisch in der Natur, sondern es wird aus seinen Erzen gewonnen, welche meist aus Verbindungen von Eisenoxyd oder Eisenoxydul mit Wasser und Thonerde bestehen.

Das Blei wird meist aus einer Verbindung von Blei und Schwefel, dem Bleiglanz, gewonnen. Ebenso gewinnt man das Kupfer, welches allerdings manchmal auch gediegen vorkommt, aus Kupferglanz, welches aus einer Verbindung von Kupfer und Schwefel besteht.

11 **Die Erden.** Die verschiedenen Erdarten, Thonerde, Kalkerde, Bittererde, Baryterde u. s. w., zeigen in ihrem ganzen Wesen große Aehnlichkeit

mit den im vorigen Paragraphen betrachteten Metalloxyden. Früher hielt man sie für Elemente, weil man sie nicht in ihre Bestandtheile zerlegen konnte; im Anfang des 19. Jahrhunderts ist es aber gelungen, auch die verschiedenen Erdarten in ihre Bestandtheile zu zerlegen und zu zeigen, daß sie gleichfalls Oxyde, d. h. Verbindungen von Sauerstoff mit Metallen, sind, die bis dahin unbekannt waren und von welchen der Sauerstoff nur schwierig getrennt werden kann.

Die Thonerde, Alaunerde, erhält man, wenn man Ammoniak in eine wässerige Auflösung von Alaun gießt. Es entsteht dabei ein weißer, gallertartiger Niederschlag, welcher sich beim Erhitzen unter Verlust von Wasser in ein weißes Pulver von Thonerde verwandelt. In dieser Form findet sich die Thonerde nicht in der Natur, wohl aber findet sich krystallisirte Thonerde, welche als Korund bekannt ist, dessen gefärbte Varietäten Saphir und Rubin (geschätzte Edelsteine) genannt werden. Der unreine Korund kommt unter dem Namen Smirgel in den Handel. Die krystallisirte Thonerde ist durch große Härte ausgezeichnet.

Während Korund doch nur selten vorkommt, ist der Thon, welcher in unreinem Zustande als Lehm bekannt ist, sehr verbreitet. Der Thon aber ist eine Verbindung von Thonerde mit Kieselerde. Mit Kieselerde verbunden kommt die Thonerde auch im Thonschiefer und im Feldspath vor, der bekanntlich einen wesentlichen Gemengtheil des Granits und des Gneises ausmacht. Mit Kieselerde verbunden bildet also die Thonerde einen sehr wesentlichen Bestandtheil unserer Erdoberfläche.

Die Thonerde ist aber das Oxyd eines Aluminium genannten Metalls, welches eine große Verwandtschaft zum Sauerstoff hat, weshalb es sich auch nur durch sehr kräftig wirkende chemische Mittel von demselben trennen läßt. In neuerer Zeit wird das Aluminium in größeren Mengen dargestellt und in Handel gebracht, namentlich aber wird es zu Schmuckarbeiten verwendet. An der Luft bleibt das Aluminium bei gewöhnlicher Temperatur blank; es zeichnet sich namentlich durch sein geringes Eigengewicht aus, indem ein Stück Aluminium ungefähr 4 mal weniger wiegt, als ein gleich großes Stück Blei.

In der Thonerde sind $27^4/_{10}$ Gewichtstheile Aluminium mit 24 $(24 = 3 . 8)$ Gewichtstheilen Sauerstoff verbunden.

Eine andere, mächtige Gebirgszüge bildende Erdart ist die Kalkerde. Mit Kohlensäure verbunden bildet sie den Kalkstein, welcher in seiner dichtesten Form als Marmor, in seiner lockersten als Kreide bekannt ist. Wird der Kalkstein stark erhitzt, so entweicht die Kohlensäure gasförmig in die Luft und der gebrannte Kalk, welcher bei der Mörtelbereitung in unserem Bauwesen eine so bedeutende Rolle spielt, bleibt zurück. Dieser gebrannte Kalk, die Kalkerde, ist das Oxyd eines Metalles, welches man Calcium genannt hat.

In der Kalkerde sind 20 Gewichtstheile Calcium mit 8 Gewichtstheilen Sauerstoff verbunden. Das Bindungsgewicht des Calciums ist also 20, das der Kalkerde ist 28.

In ähnlicher Weise wie die Kalkerde kommt auch die Bittererde (Magnesia oder auch Talkerde genannt) vor. Kohlensaure Bittererde mit kohlensaurem Kalk bildet den Bitterkalk. Magnesia aber ist nichts anderes als das Oxyd

eines Metalles, welches man **Magnesium** genannt hat. Das Magnesium wird in Form von Draht, welcher mit blendend hellem Lichte verbrennt, in den Handel gebracht.

Der **Schwerspath** (**Baryt**) enthält eine Erdart, welche man **Schwererde, Baryterde**, genannt hat und welche aus einem Metall, **Barium** und **Sauerstoff** zusammengesetzt ist.

12 **Die Alkalien.** Zwei Stoffe, welche im Haushalte der Natur sowohl wie auch in unserem alltäglichen Leben eine höchst wichtige Rolle spielen, sind **Potasche** und **Soda**, von denen weiter unten noch etwas näher die Rede sein wird. Hier muß nur bemerkt werden, daß diese Stoffe Verbindungen von Kohlensäure mit Substanzen sind, die man **Kali** und **Natron** genannt und mit dem gemeinschaftlichen Namen der **Alkalien** bezeichnet hat. Lange Zeit hielt man Kali und Natron, gleich den verschiedenen Erdarten, von denen sie sich nur durch ihre leichte Löslichkeit im Wasser unterscheiden, mit denen sie aber in ihrem chemischen Verhalten die größte Aehnlichkeit zeigen, für Elemente; wie jene aber sind sie **Metalloxyde**, die freilich nur durch kräftige chemische Mittel in ihre Bestandtheile zerlegt werden können.

Das Metall, welches in Verbindung mit Sauerstoff Kali bildet, wird **Kalium** genannt, während man den metallischen Bestandtheil des Natrons **Natrium** nennt. Kalium sowohl wie Natrium sind silberweiße Metalle, welche bei gewöhnlicher Lufttemperatur so weich sind, daß man sie mit dem Messer schneiden kann. Kalium und Natrium zeichnen sich auch dadurch vor den Erdmetallen aus, daß sie ein geringeres Eigengewicht haben, als Wasser, daß sie also auf dem Wasser schwimmen.

Natrium kommt jetzt zu ziemlich mäßigen Preisen im Handel vor.

Beide Metalle haben so große Verwandtschaft zum Sauerstoff, daß eine frische Schnittfläche derselben, die man eben mit dem Federmesser hergestellt hat, sogleich wieder erblindet, indem das Metall Sauerstoff aus der Luft anzieht und sich mit einer Oxydschicht überzieht.

Die Verwandtschaft des Kaliums und des Natriums zum Sauerstoff ist noch größer, als die Verwandtschaft, mit welcher Wasserstoff und Sauerstoff im Wasser mit einander verbunden sind (§. 14); mit Wasser in Berührung gebracht, entzieht deshalb Kalium sowohl als Natrium dem Wasser eine entsprechende Menge Sauerstoff, während Wasserstoff in Gasform frei wird.

Es läßt sich dies zeigen, wenn man mittelst einer Pincette ein Stückchen Natrium unter die Mündung eines mit Wasser gefüllten und durch Wasser abgesperrten Glascylinders bringt, wie wir ihn auf Seite 11 kennen lernten. Das Wasserstoffgas sammelt sich in dem oberen Theile der Röhre. Leider ist dieser lehrreiche Versuch gefährlich, indem nicht selten dabei Explosionen vorkommen, welche den Glascylinder zertrümmern. Es ist deshalb zu rathen, diesen Versuch in der Schule nicht anzustellen.

Kalium und Natrium dürfen deshalb, wenn man sie aufbewahren will, weder mit Wasser noch mit Luft in Berührung sein, sie werden deshalb in **Steinöl**, einer sauerstofffreien Flüssigkeit, aufbewahrt.

Wenn ein Stückchen Kalium auf Wasser geworfen wird, so ist die Wärmeentwickelung so groß, daß sich das freiwerdende Wasserstoffgas entzündet und sogleich wieder mit violetter Flamme verbrennt. Auch bei diesem Versuch kommen häufig Explosionen vor.

Das Wasser erhält bei diesen Versuchen einen laugenhaften Geschmack, welcher daher rührt, daß sich das eben gebildete Natrium- oder Kaliumoxyd (Natron oder Kali) in demselben auflöst.

Mit 8 Gewichtstheilen Sauerstoff verbinden sich 39 Gewichtstheile Kalium zu Kali und 23 Gewichtstheile Natrium zu Natron. — 47 Gewichtstheile Kali bilden mit 9 Gewichtstheilen Wasser einen festen Körper, welcher unter dem Namen Aetzkali bekannt ist. Ebenso besteht das Aetznatron (gleichfalls ein fester Körper) aus 31 Gewichtstheilen Natron und 9 Gewichtstheilen Wasser.

Eine wässerige Auflösung von Kali in Wasser wird Kalilauge, eine solche von Natron in Wasser wird Natronlauge genannt.

Bevor wir nun die Verbindungen des Kalis und des Natrons noch etwas näher besprechen können, müssen wir erst das Vorkommen des Sauerstoffs in der atmosphärischen Luft betrachten und die Verbindungen des Sauerstoffs mit den wichtigsten Metalloiden (nicht metallischen Körpern) kennen lernen.

Stickstoff. Die atmosphärische Luft ist, wenn man einige andere der 13
Menge nach ganz unbedeutende Bestandtheile derselben unberücksichtigt läßt, ein Gemenge von 4 Raumtheilen Stickstoff (Stickgas) und 1 Raumtheil Sauerstoffgas.

Auch für sich allein ist Stickstoff stets gasförmig.

Um Stickstoff darzustellen, hat man nur einer gegebenen Menge atmosphärischer Luft ihren Sauerstoff zu entziehen, ohne daß sich andere Gase dem zurück-

Fig. 13.



Fig. 14.

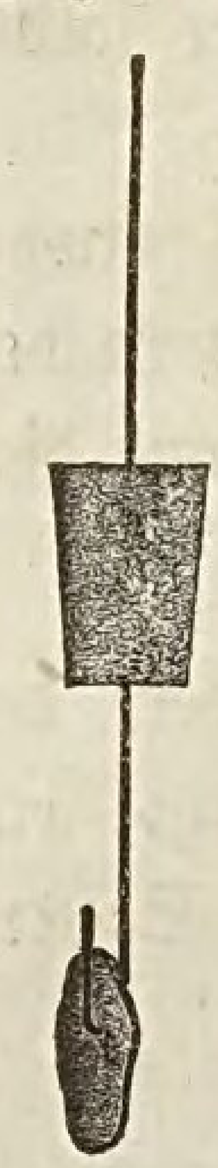


bleibenden Stickstoff beimengen. Es geschieht dies dadurch, daß man in einer abgesperrten Luftmasse einen Stoff verbrennt, dessen Verbindung mit Sauerstoff ein fester und nicht ein luftförmiger Körper ist, und zwar läßt sich der Versuch am leichtesten und sichersten in folgender Weise anstellen: Auf das Wasser im Gefäß *A B* Fig. 13 setzt man ein Schälchen von Porzellan oder Eisenblech, welches entweder für sich auf dem Wasser schwimmt, oder wenigstens, wenn es von einem passenden Brettchen von Tannenholz getragen wird. In das Schälchen bringt man ein stark haselnuß großes Stückchen Phosphor, zündet dieß mittelst eines brennenden Zündhölzchens an, und stülpt dann rasch eine Glasflasche *M N*

darüber, deren Boden weggesprengt ist[1]). Sobald das Gefäß *MN* auf den Boden aufgesetzt ist (wobei sich natürlich das Wasser innerhalb und außerhalb *MN* gleich hoch stellt), wird der Hals der Glocke *MN* mit einem vollkommen gut passenden Kork *s* Fig. 14 (a. v. S.) verschlossen.

Der Phosphor brennt nun eine Zeit lang fort, bis fast aller Sauerstoff in der Glocke verzehrt ist; dabei füllt sie sich mit einem weißen, undurchsichtigen Rauch, der Phosphorsäure, welche sich allmälig im Wasser auflöst, so daß der Inhalt der Glocke wieder durchsichtig wird. Anfangs dehnt sich die abgesperrte Luft in Folge der Erwärmung durch den brennenden Phosphor aus, doch nicht stark genug, um unten aus der Glocke zu entweichen. Ist die Glocke und ihr Inhalt genügend abgekühlt und sind die weißen Dämpfe der Phosphorsäure vollständig verschwunden, was etwa nach einer Stunde der Fall sein wird, so ist nun das Wasser im Innern der Glocke bedeutend gestiegen und außen ist der Wasserspiegel gesunken, wie man Fig. 14 sieht; der Raum, welchen das jetzt noch in der Glocke abgesperrte Gas einnimmt, ist ungefähr nur $^4/_5$ von dem Luftvolumen, welches in dem Augenblicke abgesperrt wurde, in welchem der Hals der Glocke durch den Korkstopfen *s* verschlossen wurde[2]).

Fig. 15.

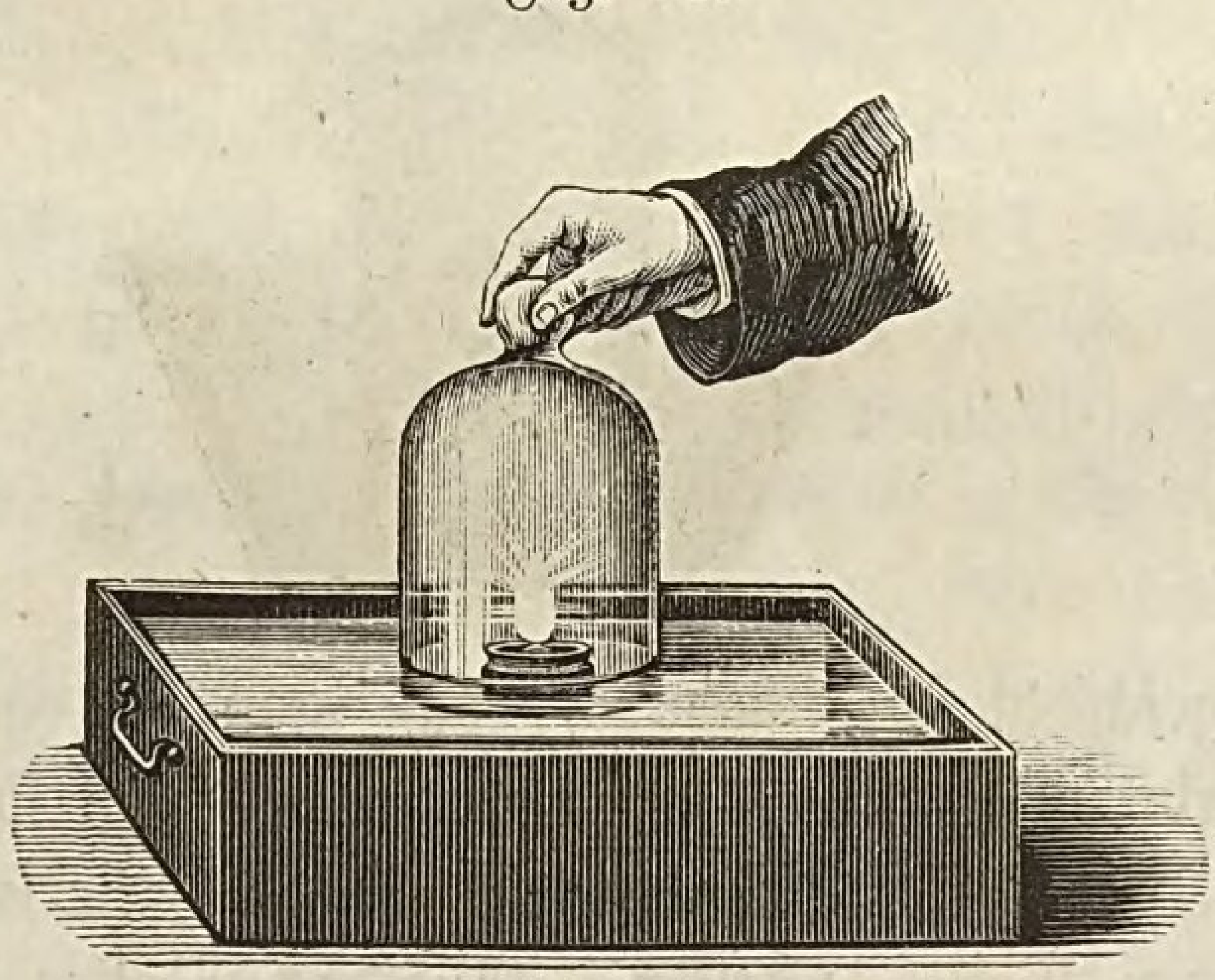


---

[1]) Statt der Flasche ohne Boden kann man natürlich auch eine unten offene Glasglocke gebrauchen, welche oben in ähnlicher Weise mit einem Halse versehen ist, wie eine Flasche.

[2]) In der oben beschriebenen Weise ist der Versuch leicht und sicher auszuführen; in den meisten Lehrbüchern ist er aber in einer Weise beschrieben, wie er nicht gelingt und nicht gelingen kann, oft sogar wird er in einer Weise dargestellt, welche beweist, daß der Autor den Versuch nie angestellt hat. In einem sonst sehr empfehlenswerthen Werke über Chemie ist z. B. die Sache so dargestellt: „Man läßt einen großen Korkpfropfen auf Wasser in einer Wanne schwimmen und stellt ein kleines Porzellanschälchen darauf, in welches man ein Stückchen Phosphor bringt, das man anzündet. Man deckt sogleich über das Schälchen eine große Glasglocke, Fig. 16, die man etwa einen Zoll unter Wasser taucht, so daß eine gewisse Menge von Luft abgesperrt ist. Der Phosphor fährt fort zu brennen, bis aller Sauerstoff sich mit ihm verbunden hat; die dadurch entstandene Phosphorsäure wird vom Wasser aufgelöst, und nachdem die Verbrennung aufgehört hat und das Gas erkaltet ist, sieht man, daß das Volum derselben bedeutend abgenommen hat, und etwa nur noch $^4/_5$ von dem ursprünglichen Raume einnimmt."

Fig. 16.



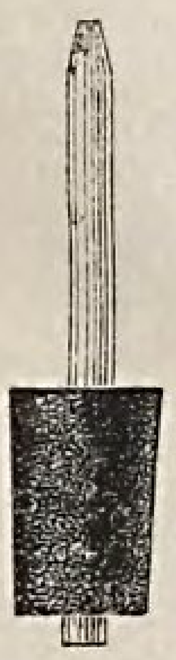
In dieser Form gelingt aber der Versuch nicht. Sobald man in der angegebenen Weise die Glasglocke über das Schälchen mit brennendem Phosphor gestülpt hat, dehnt sich die abgesperrte Luft durch die starke Erwärmung dermaßen aus, daß sie in Form mächtiger Blasen am unteren Rande der Glocke entweicht; wenn also nach Abkühlung des Apparates das Wasser im Innern der

Dadurch also, daß in einer abgesperrten Parthie atmosphärischer Luft Phosphor verbrannt wurde, hat das Volumen der Gasmenge abgenommen, was daher rührt, daß der Sauerstoff der Luft sich mit Phosphor zu einem vom Wasser aufgelösten festen Körper verbunden hat, dessen Rauminhalt verschwindend klein ist im Vergleich zu dem Raume, den der Sauerstoff vorher in Gasform einnahm. Der in der Glocke, Fig. 14, zurückbleibende Gasrest ist Stickstoff.

Es muß nun noch gezeigt werden, daß die nach dem eben besprochenen Versuche in der Glocke zurückbleibende Luftart wirklich keine atmosphärische Luft mehr ist, daß sie das Brennen nicht mehr unterhalten kann. Zu diesem Zweck gießt man zunächst in das äußere Gefäß so viel Wasser, daß sein Spiegel innerhalb und außerhalb der Glasglocke gleich hoch steht. Alsdann entfernt man den Kork *s* und ersetzt ihn rasch durch einen anderen in Fig. 15 in doppeltem Maaßstab der Fig. 14 dargestellten Kork, in welchem ein Draht steckt, an dessen unterem umgebogenen Ende ein Stückchen brennenden Zunders hängt; dieser verlöscht alsbald. Der Stickstoff kann also die Verbrennung nicht unterhalten, in einer sauerstofflosen Atmosphäre von Stickgas könnte also auch weder Mensch noch Thier leben.

Wenn wir nun aber auch gesehen haben, daß das Stickgas die Verbrennung nicht unterhalten kann, so bleibt doch noch übrig, zu zeigen, daß das Stickgas auch nicht brennbar ist. Nachdem man in das Gefäß *A B*, Fig. 14, soviel Wasser gegossen hat, daß es in und außer der Flasche gleich hoch steht, vertauscht man den Stopfen *s* rasch mit einem anderen, welcher in Fig. 17 in doppelter Größe der Fig. 14 dargestellt ist, in dessen Mitte ein oben zugespitztes beiderseits offenes Glasröhrchen steckt. Gießt man nun ferner Wasser in das Gefäß *A B* (welches zu diesem Zwecke etwas höher sein dürfte, als das Gefäß *A B* der Figur 14), so strömt das Stickgas durch die Spitze des Röhrchens aus; das ausströmende Gas brennt aber nicht, wenn man es mit einem brennenden Zündhölzchen in Berührung bringt, wie es doch, wie wir sogleich sehen werden, beim Wasserstoffgase der Fall ist.

Fig. 17.



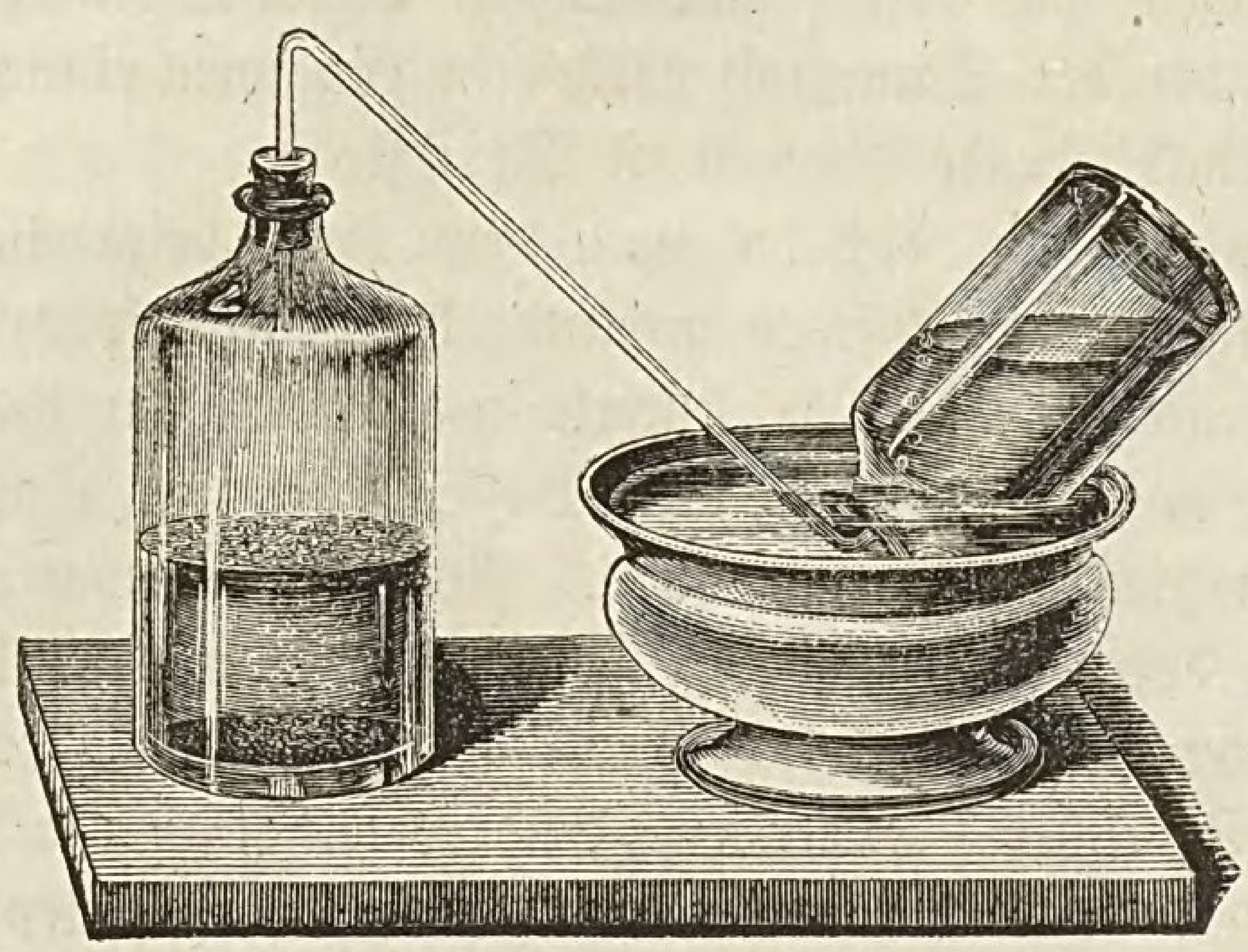
Wasserstoff. In eine Flasche von ungefähr $1/2$ Liter Inhalt bringt man 20 bis 30 Gramm Eisenfeile (oder auch kleine Stückchen von Zink), auf welche man etwas über $1/4$ Liter verdünnter Schwefelsäure (S. 7) gießt und dann den Hals der Flasche mit einem wohlschließenden Kork verschließt, in welchem sich eine gekrümmte Röhre befindet, wie man in der Fig. 18 (s. S.) sieht. Es entsteht nun eine lebhafte Gasentwickelung, 14

Glocke steigt, so weiß man nicht, welchen Antheil an der Volumenverminderung des abgesperrten Gases das anfängliche Entweichen der Luft hat, kurz, der Versuch verliert alle beweisende Kraft.

Andere haben den Versuch dahin abgeändert, daß sie den Phosphor durch ein Stückchen Zunder ersetzen, welcher mit Weingeist befeuchtet ist. Durch diese Abänderung ist der eben erwähnte Fehler durchaus nicht gehoben, wohl aber kommt ein neuer hinzu. Durch die Verbrennung des Weingeistes bildet sich nämlich nicht allein Wasser, sondern auch Kohlensäure, welche gasförmig bleibt und den gleichen Raum einnimmt, wie der Sauerstoff, welchen sie enthält. Die zurückbleibende Luft ist nicht Stickstoff, sondern ein Gemenge von Stickstoff und Kohlensäure.

indem zahlreiche kleine Gasbläschen von dem Metall aufsteigen. Wird die Mündung des gekrümmten Rohres unter Wasser getaucht, so sieht man hier das entweichende Gas in Form größerer Blasen aus dem Sperrwasser entweichen.

Fig. 18.



Nachdem die Gasentwickelung ungefähr vier Minuten gedauert hat und man sicher sein kann, daß alle in der Entwickelungsflasche enthaltene atmosphärische Luft ausgetrieben worden ist, wird eine mit Wasser gefüllte Röhre oder auch eine mit Wasser gefüllte Flasche über die Mündung des Entwickelungsrohres geschoben, so daß die aufsteigenden Gasblasen in der Flasche aufsteigen. Ist auf diese Weise die Flasche rechts in der Figur mit Gas gefüllt, so wird sie noch unter Wasser mit einem Kork verschlossen und aus dem Wasser genommen aufrecht hingestellt. Entfernt man jetzt den Kork, so kann man mittelst eines brennenden Streichholzes das Gas an der Mündung der Flasche anzünden und das Brennen eine Zeit lang unterhalten, wenn man das

Fig. 19.

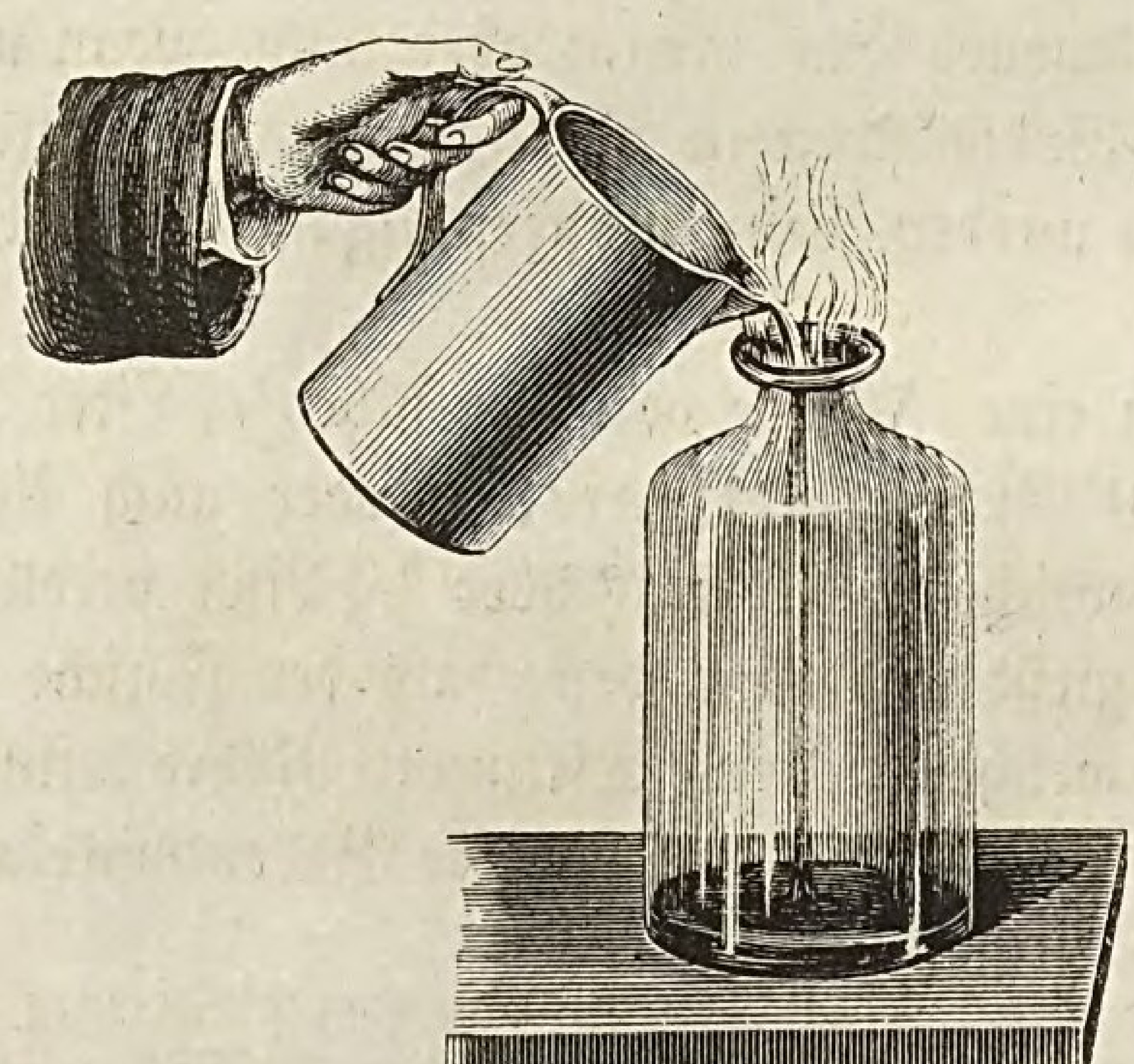
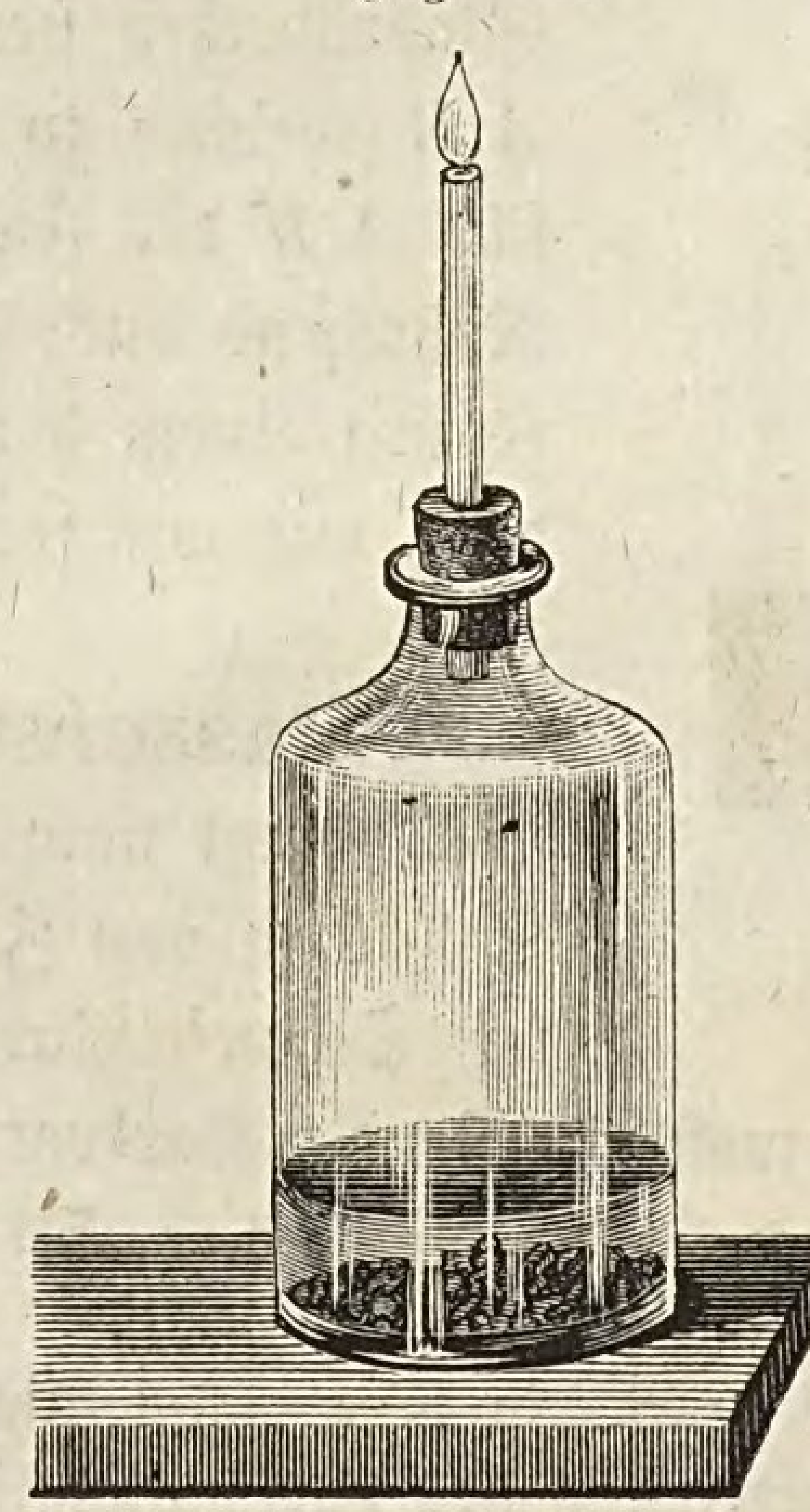


Fig. 20.



in der Flasche enthaltene Gas durch Einschütten von Wasser zur Mündung heraustreibt, wie Fig. 19 andeutet.

Noch schöner läßt sich das Brennen des Wasserstoffgases zeigen, wenn man die Flasche, in welcher die Wasserstoffentwickelung stattfindet, mit einem Korke schließt, in welchem ein kurzes, oben etwas zugespitztes Glasröhrchen steckt, Fig. 20.

Hat die Gasentwickelung 2 bis 4 Minuten fortgedauert, so kann man das aus der Spitze entweichende Gas ohne Gefahr anzünden[1]) und es brennt dann mit einer schwach leuchtenden Flamme.

Bei der Verbrennung des Wasserstoffgases verbindet es sich mit dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft. Das Product dieser Verbindung ist aber Wasserdampf, welcher sich erkaltend zu Wasser verdichtet. Um dies zu zeigen, braucht man nur über die soeben besprochene Wasserstoffflamme eine leere Glasflasche zu halten, wie Fig. 21 zeigt, deren Wände sich mit Wassertröpfchen beschlagen, um alsbald bei zunehmender Verdichtung von Wasserdampf in Form von Wassertropfen aus der Mündung der Flasche herabzufallen.

Das Wasser ist also eine Verbindung zweier gasförmigen Körper, des Sauerstoffs und des Wasserstoffs, und zwar verbindet sich 1 Raumtheil Sauerstoff stets mit 2 Raumtheilen Wasserstoff. Dem Gewicht nach enthalten 9 Gewichtstheile Wasser 8 Gewichtstheile Sauerstoff und 1 Gewichtstheil Wasserstoff.

Fig. 21.

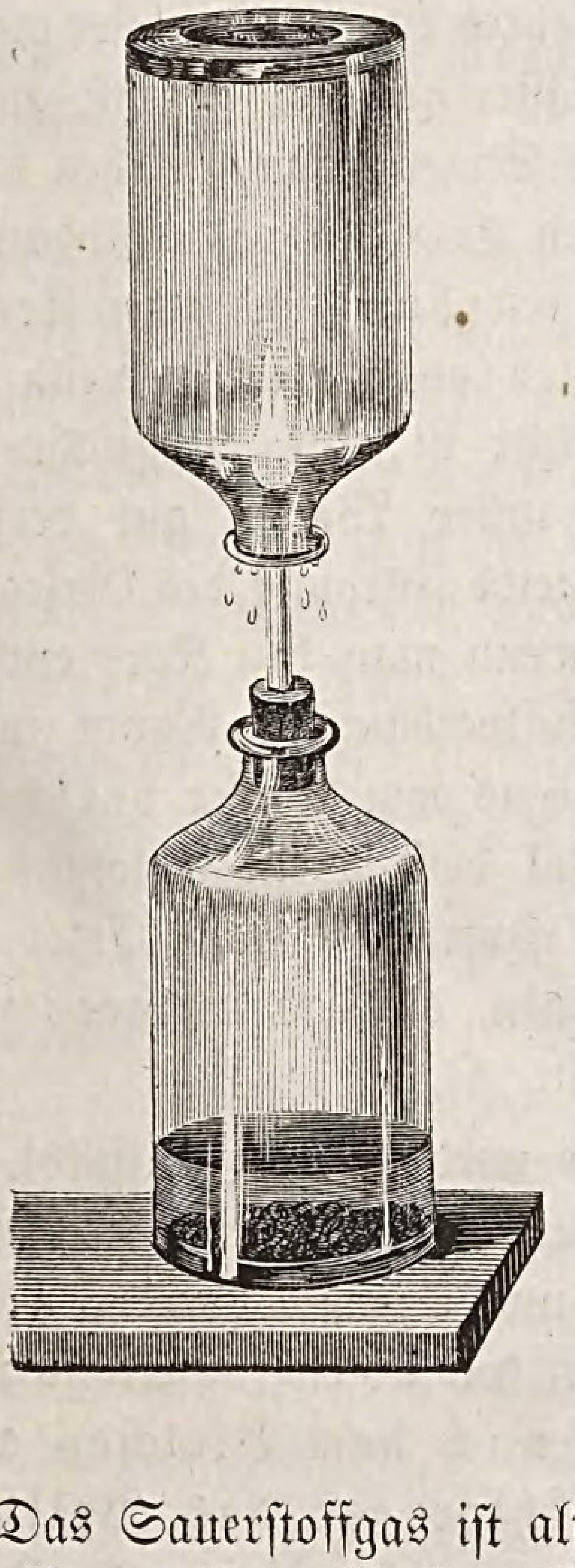
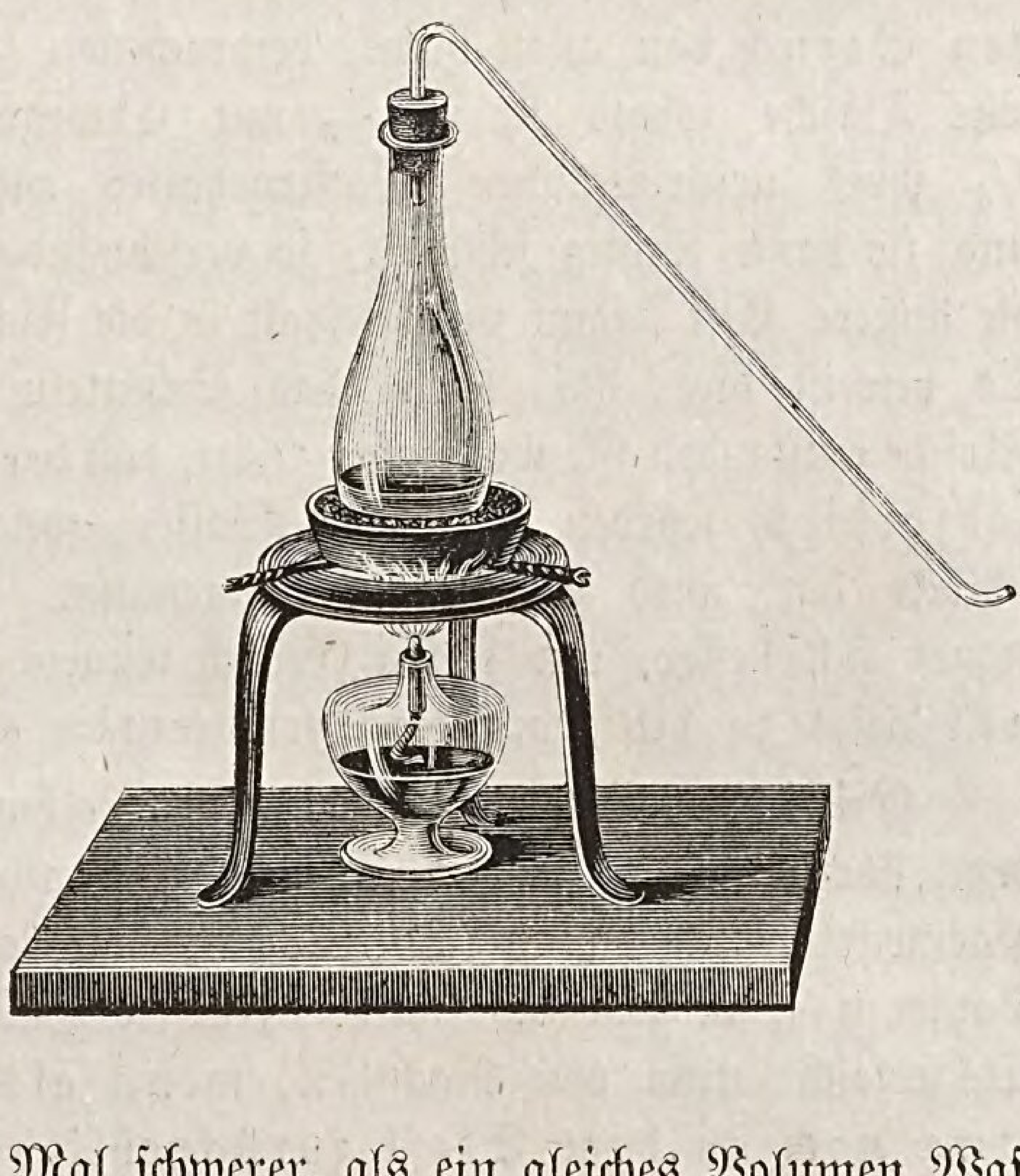


Fig. 22.



Das Sauerstoffgas ist also 16 Mal schwerer, als ein gleiches Volumen Wasserstoffgas. Das Wasserstoffgas ist der leichteste Körper, welchen man kennt.

---

[1]) Ein Gemenge von Sauerstoffgas und Wasserstoffgas wird Knallgas genannt, weil es, entzündet, unter heftigem Knall explodirt. Wollte man das aus der Spitze des Röhrchens, Fig. 20, ausströmende Gas entzünden, ehe aus der Flasche alle atmosphärische Luft durch den sich entwickelnden Wasserstoff ausgetrieben worden ist, so könnte leicht das Gasgemenge in der Flasche sich entzünden und durch seine Explosion das Glasgefäß zertrümmern.

Ein Bindungsgewicht Wasserstoff = 1 bildet mit einem Bindungsgewicht Sauerstoff = 8 ein Bindungsgewicht Wasser = 9.

Das reine Wasserstoffgas ist farb- und geruchslos, es brennt in sauerstoffhaltiger Luft, während ein brennender Körper in einer Atmosphäre von Wasserstoff nicht fortbrennen kann, sondern alsbald verlöscht, wie man nachweisen kann, wenn man von einer mit Wasserstoffgas gefüllten Flasche den Kork entfernt und statt dessen den Kork, Fig. 15, Seite 20, mit dem Draht und dem brennenden Zunderstück rasch einsenkt.

15 **Chlor.** Von den auf Seite 10 genannten einfachen Gasen bleibt uns nur noch das Chlor kurz zu betrachten übrig. Das Chlor ist ein Bestandtheil der Salzsäure, welche in jeder Materialhandlung und in jeder Apotheke zu haben ist. Um es aus der Salzsäure auszutreiben, werden ungefähr 20 Gramm gestoßenen Braunsteins mit 60 Gramm roher Salzsäure übergossen und in einem mit einer gebogenen Glasröhre verbundenen Kochfläschchen Fig. 22 (v. S.), langsam erhitzt: es entweicht aus der Mündung des gebogenen Rohres ein Gas, welches man in einem aus farblosem Glas gefertigten und mit Wasser gefüllten Gefäß auffangen kann, wie wir es beim Wasserstoffgas und beim Sauerstoffgas gesehen haben. Auf diese Weise kann man mehrere Glasgefäße von etwa 200 CC. Inhalt mit Chlorgas füllen, welches sich durch seine gelbliche Färbung und einen stechenden Geruch von allen bisher besprochenen Gasarten auszeichnet. Wenn man eine Flasche, sobald sie zu $^2/_3$ mit Chlorgas gefüllt ist, also ungefähr noch $^1/_3$ ihres ursprünglichen Wassergehaltes enthält, unter Wasser gut verstopft und sie dann tüchtig schüttelt, so verschwindet die gelbe Färbung des Gases und die äußere Luft strömt mit Gewalt in die Flasche, wenn man den Kork entfernt. Es beweist dies, daß durch das Schütteln ein luftverdünnter Raum in der Flasche entstanden ist, was daher rührt, daß das Chlorgas vom Wasser verschluckt (absorbirt) worden ist. Das Wasser, welches auf diese Weise Chlorgas verschluckt hat, wird Chlorwasser genannt. Es riecht stark nach Chlor und eignet sich besser, um diesen Geruch kennen zu lernen, als das Chlorgas selbst, weil dieses zu heftig auf die Geruchsorgane einwirkt.

Gießt man Chlorwasser zu etwas Rothwein, so wird derselbe entfärbt, wie denn überhaupt das Chlor bleichend auf alle Pflanzenfarben wirkt, weshalb es gegenwärtig auch häufig zum Bleichen von Leinen- und Baumwollenzeugen, von Papier u. s. w. gebraucht wird. Für die Haltbarkeit der gebleichten Stoffe ist die Chlorbleiche nicht von Nachtheil, wenn alsbald nach dem Bleichen alles etwa noch in dem Stoff zurückgebliebene Chlor auf das Vollständigste entfernt wird, was am besten durch unterschwefligsaures Natron geschieht.

Wenn man Chlorwasser zu faulenden und stinkenden Stoffen gießt (Wasser aus Blumenvasen, Mistjauche, faulen Eiern u. s. w.), so verschwindet der unangenehme Geruch. Das Chlor zersetzt also auch die flüchtigen übelriechenden Verbindungen, welche sich bei der Fäulniß bilden. Eben so wirkt es auf Krankheitsstoffe, die sich bei vielen Krankheiten in der Luft ausbreiten, an Klei-

dern oder Betten festhaften und dadurch ansteckend auf andere Personen wirken (Räucherung mit Chlorgas).

Zum Bleichen sowohl wie zum Räuchern mit Chlor wendet man jetzt meist den Chlorkalk an, d. h. gebrannten Kalk, welcher mit Chlor imprägnirt ist. Um das Chlor aus dem Chlorkalk auszutreiben, braucht man nur etwas verdünnte Schwefelsäure oder Salzsäure aufzugießen.

Hier muß noch zweier einfacher Stoffe, des Jod's und des Brom's erwähnt werden, welche in ihrem chemischen Verhalten die größte Aehnlichkeit mit dem Chlor zeigen und auf Seite 10 nur ihres seltenen Vorkommens wegen nicht erwähnt wurden. Beide Stoffe, namentlich aber das Jod, haben in neuerer Zeit nicht allein als Heilmittel, sondern auch in der Photographie eine solche Bedeutung erlangt, daß sie auch hier nicht ganz übergangen werden dürfen.

Das Jod ist bei gewöhnlicher Temperatur ein fester Körper, welcher gewöhnlich in Form dunkelgrauer metallisch glänzender Blättchen vorkommt. Bei etwas höherer Temperatur verwandelt es sich in schön violette Dämpfe von chlorartigem Geruch.

Das Brom ist bei gewöhnlicher Temperatur eine tief rothbraune Flüssigkeit von stechendem Geruch.

Die Säuren. Es war oben von Schwefelsäure und Salzsäure die Rede, 16
und so ist es denn jetzt nöthig, die Bildung der wichtigsten Säuren zu betrachten. — Während sich der Sauerstoff mit den Metallen zu festen Körpern, den Oxyden, mit Wasserstoff aber zu einem tropfbar flüssigen Körper, dem Wasser, verbindet, gehören die Verbindungen des Sauerstoffs mit den oben genannten Metalloiden und einfachen Gasarten in eine Classe von Stoffen, welche man Säuren nennt.

Wenn man Schwefel verbrennt, so entwickelt sich ein eigenthümlich stechender Geruch, welcher von einer gasförmigen Verbindung des Schwefels mit Sauerstoff herrührt und welche die Chemiker mit dem Namen der schwefligen Säure bezeichnen. 32 Gewichtstheile schwefliger Säure enthalten 16 Gewichtstheile Schwefel auf 16 Gewichtstheile Sauerstoff. Sie verdichtet sich bei einer Kälte von 10 Grad Celsius unter Null zu einer farblosen sauren Flüssigkeit oder mit anderen Worten: 2 Bindungsgewichte Sauerstoff ($2 \cdot 8 = 16$) verbinden sich mit 1 Bindungsgewicht Schwefel (16) zu 1 Bindungsgewicht schwefliger Säure ($16 + 16 = 32$). Unter Umständen, die wir hier nicht weiter betrachten können, kann aber die schweflige Säure durch weitere Aufnahme von Sauerstoff sich in Schwefelsäure verwandeln und zwar nimmt 1 Bindungsgewicht schwefliger Säure (32) noch ein Bindungsgewicht (8) Sauerstoff auf, um 1 Bindungsgewicht ($32 + 8 = 40$) Schwefelsäure zu bilden.

Die Schwefelsäure besteht also aus 1 Bindungsgewicht Schwefel mit 3 Bindungsgewichten Sauerstoff.

Zu 1 Bindungsgewicht dieser Schwefelsäure tritt aber noch 1 Bindungsgewicht Wasser, um Schwefelsäurehydrat zu bilden, welche unter dem Namen englische Schwefelsäure oder Vitriolöl bekannt ist.

Wenn man Vitriolöl in einem offenen Gefäß stehen läßt, so zieht es mehr und mehr Wasserdämpfe aus der Luft an und verwandelt sich dadurch mehr und

mehr in verdünnte Schwefelsäure. Verdünnte Schwefelsäure erhält man auch, wenn man Vitriolöl in Wasser gießt; um aber eine zu starke Erhitzung zu vermeiden, muß man das Vitriolöl nur nach und nach in kleinen Quantitäten in das Wasser gießen und vor einem weiteren Zuschütten immer erst die Flüssigkeit mit einem Glasstab umrühren.

Das Vitriolöl verkohlt und zerfrißt alle organischen Substanzen, mit denen man es in Berührung bringt, indem es das in ihnen enthaltene Wasser anzieht, wie man z. B. sieht, wenn man einen Holzspahn oder einen Korkstopfen in Vitriolöl taucht. Man muß sich deshalb auch sehr hüten, Vitriolöl auf die Haut zu bringen.

Auch der Phosphor verbindet sich mit Sauerstoff und zwar bildet sich Phosphorsäure, wenn man Phosphor in freier Luft verbrennt. Die Phosphorsäure ist ein fester Körper, welcher bei dem auf Seite 19 beschriebenen Versuch in Form eines weißen Rauches die Flasche anfüllt und nach und nach vom Wasser aufgelöst wird, welches dadurch einen etwas säuerlichen Geschmack erhält.

Die Phosphorsäure kann in der elementaren Naturlehre nicht weiter besprochen werden.

Wichtiger ist für uns die Kohlensäure, eine gasförmige Verbindung des Kohlenstoffs mit dem Sauerstoff.

Wenn man ein Stückchen glühender Kohle durch vorsichtiges Anblasen brennend erhält, so verschwindet es für unsere Wahrnehmung allmälig vollständig, so daß nur eine ganz geringe Menge Asche zurückbleibt. Die bei der Verbrennung gebildete Verbindung des Kohlenstoffs mit dem Sauerstoff ist also gasförmig in die Luft entwichen.

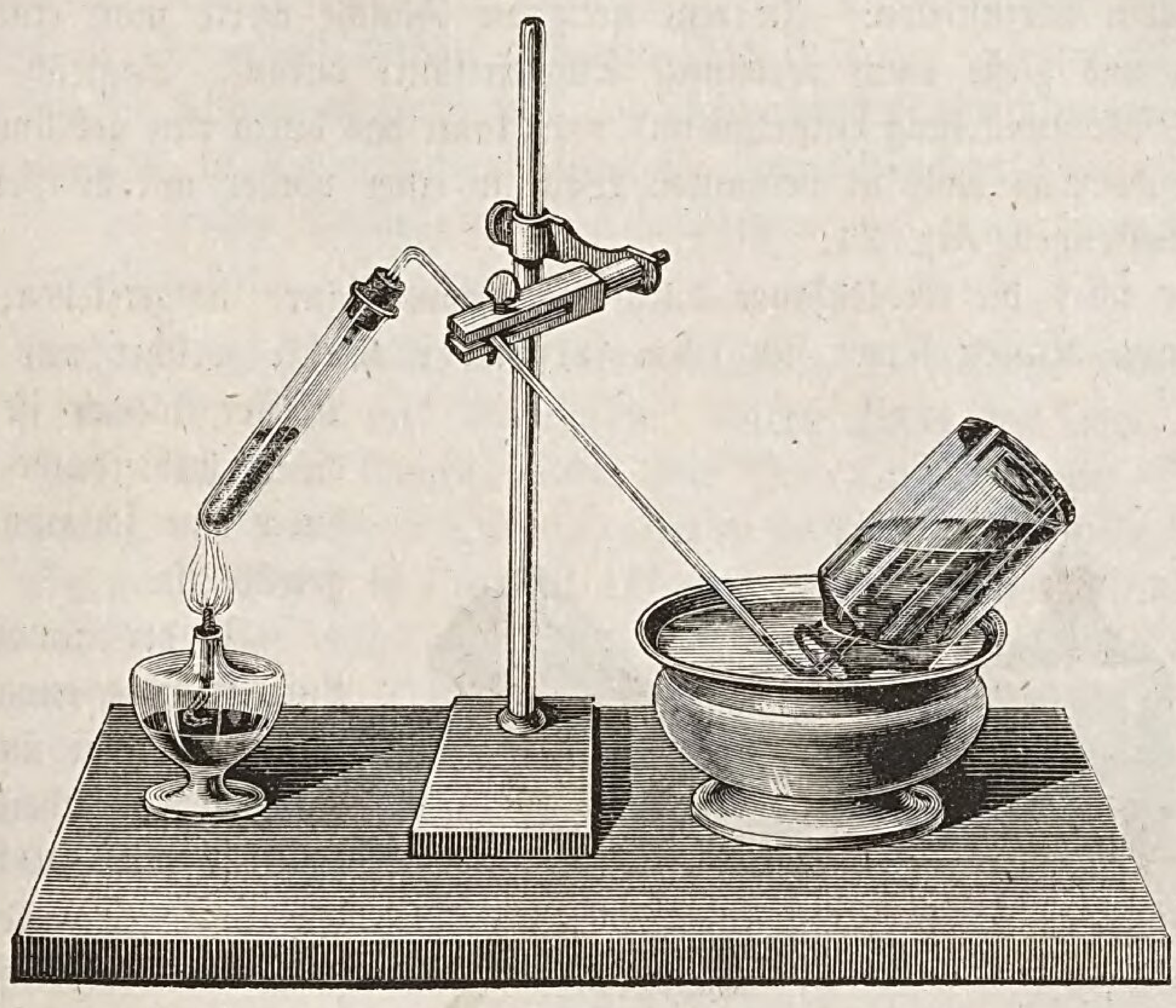
Um reine Kohlensäure zu erzeugen, wird ein Gemenge von 6 Gramm rothem Quecksilberoxyd mit ungefähr $1/2$ Gramm Kohlenpulver in einem Probirgläschen erhitzt und das dabei entweichende Gas in der bekannten Weise aufgefangen, wie es Fig. 23 erläutert. In der bekannten Weise kann man sich davon überzeugen, daß das aufgefangene Gas weder selbst verbrennen, noch die Verbrennung unterhalten kann, indem ein in dasselbe eingetauchter brennender Holzspahn sogleich erlischt. Dagegen zeichnet sich das Gas durch einen eigenthümlichen, schwach säuerlichen Geruch aus.

Die Bildung von Kohlensäure bei dem in Fig. 23 dargestellten Versuch erklärt sich leicht. Der durch die Erhitzung des Quecksilberoxyds aus demselben ausgetriebene Sauerstoff kann nicht frei entweichen, wie bei dem Versuch Seite 11, sondern er verbindet sich mit dem Kohlenstoff zu Kohlensäure, welche durch das gebogene Rohr entweicht. In 22 Gewichtstheilen Kohlensäure sind stets 6 Gewichtstheile Kohle mit 16 Gewichtstheilen Sauerstoff verbunden.

Wenn man eine Flasche ungefähr zu $3/4$ mit Kohlensäuregas gefüllt hat, so daß noch $1/4$ Wasser zurückbleibt, sie dann unter Wasser verkorkt und darauf einige Zeit lang tüchtig schüttelt, so wird der größte Theil der Kohlensäure vom Wasser verschluckt, so daß ein luftverdünnter Raum entsteht. Oeffnet man nun den Kork, so strömt äußere Luft mit Gewalt ein, wie sich durch einen schwachen Knall kundgiebt. Das Wasser hat aber durch die Aufnahme von Kohlensäure einen etwas säuerlichen Geschmack erhalten.

Die Menge der Kohlensäure, welche eine gegebene Quantität Wasser aufnehmen kann, hängt von der Stärke des Drucks ab, unter welchem sich das Gas

Fig. 23.



und das Wasser befinden. Ein Liter Wasser kann etwas mehr als 1 1/2 Liter kohlensaures Gas aufnehmen. Bei hohem Druck enthalten aber 1 1/2 Liter mehr Gas, als bei niederem.

Das sogenannte Sauerwasser ist Wasser, welches entweder auf natürlichem oder künstlichem Wege Kohlensäure absorbirt (verschluckt) hat. Die Luftblasen, welche dem Sauerwasser, dem Schaumwein (Champagner), entsteigen, sind Kohlensäure.

Wenn man in eine weiße Flasche voll Kohlensäure etwas Kalkwasser[1]) gießt, und den Inhalt tüchtig schüttelt, so wird das Wasser milchig, weil der Kalk sich mit der Kohlensäure verbindet und sich kohlensaurer Kalk ausscheidet, welcher viel weniger in Wasser auflöslich ist als die Kalkerde selbst.

Der kohlensaure Kalk ist auf der Erde sehr verbreitet, er bildet Felsen und ganze Gebirgszüge, wie z. B. das Juragebirge und einen großen Theil der Alpen. Der Kalkstein, der Marmor, die Kreide sind, wie schon bemerkt, nur verschiedene Formen des kohlensauren Kalkes. Um aus demselben ätzenden Kalk (Kalkerde,

---

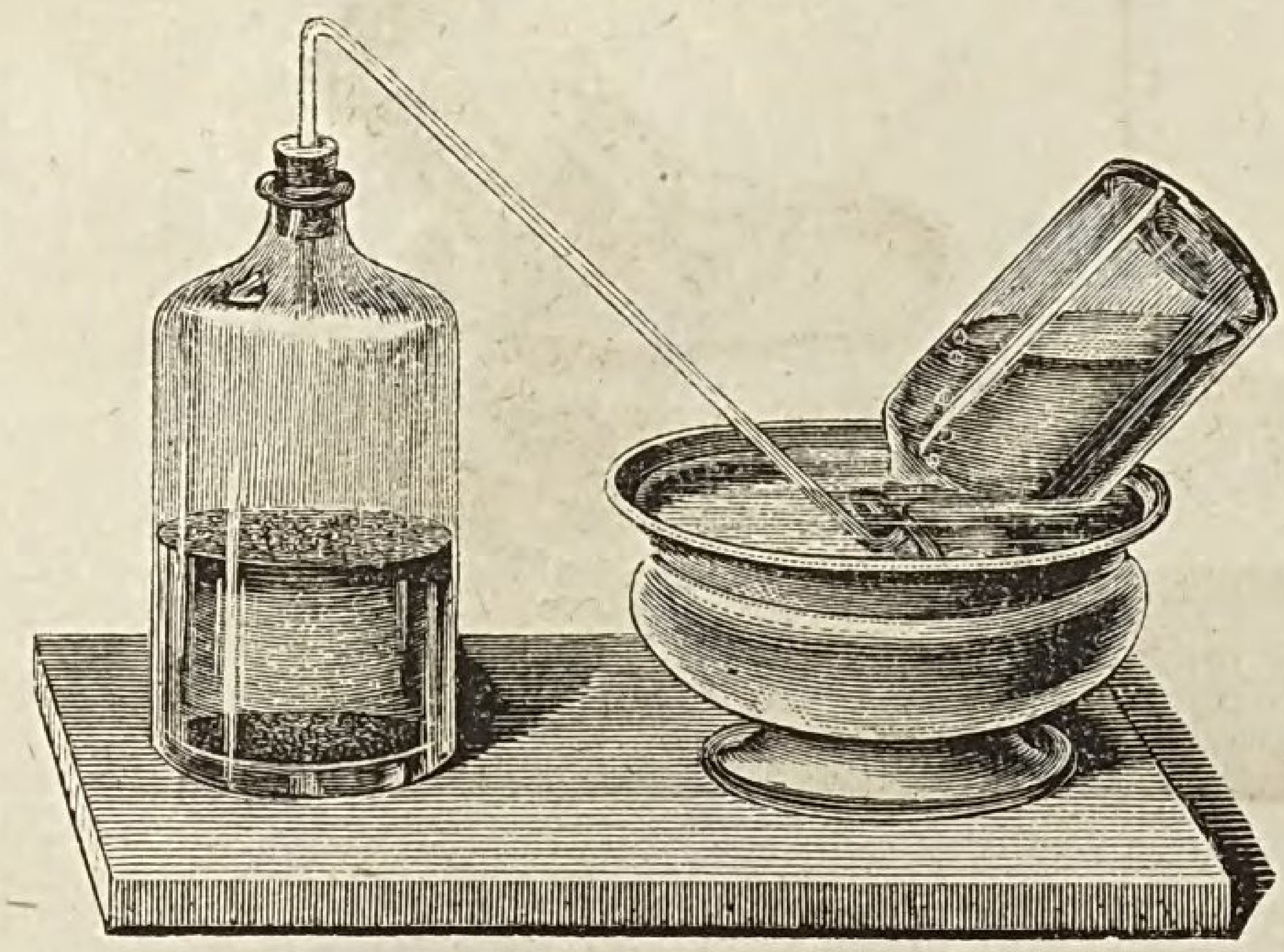
[1]) Um Kalkwasser darzustellen, schüttet man in eine Glasflasche, welche ungefähr 1/4 Liter Wasser enthält, 12 bis 15 Gramm gebrannten Kalkes, verschließt die Flasche mit einem Kork und schüttelt sie tüchtig. Man erhält auf diese Weise eine milchige Flüssigkeit, aus welcher sich nach längerem ruhigen Stehen ein weißer Bodensatz absetzt, über dem eine klare Flüssigkeit steht. Es ist dies Wasser, welches etwas Kalk aufgelöst hat und deshalb Kalkwasser genannt wird. Mit einiger Vorsicht kann man das Kalkwasser als klare Flüssigkeit vom Bodensatz abgießen.

Calciumoxyd) zu erhalten, wird er in eigenen Oefen stark erhitzt und dadurch die Kohlensäure ausgetrieben, so daß nur die Kalkerde zurückbleibt.

Der Kalkstein ist nun das geeignetste Mittel, um Kohlensäure in größeren Quantitäten darzustellen. In eine geeignete Flasche werfe man einige Stücke Kalkstein und gieße dann verdünnte Schwefelsäure darauf. Sogleich wird eine lebhafte Gasentwickelung entstehen und man kann das durch eine gekrümmte Röhre entweichende Gas nach der bekannten Weise in einer vorher mit Wasser gefüllten Flasche auffangen, Fig. 24.

Hier wird die Kohlensäure durch die Schwefelsäure ausgetrieben; statt des kohlensauren Kalkes bildet sich schwefelsaurer Kalk, welcher nur wenig in Wasser löslich ist, weshalb die zurückbleibende Flüssigkeit durch eine schlammige Masse getrübt ist.

Fig. 24.



In der atmosphärischen Luft ist stets etwas Kohlensäure enthalten und zwar 33 bis 53 Raumtheile Kohlensäure in 100 000 Raumtheilen Luft. So gering aber auch der Kohlensäuregehalt der Luft ist, so wichtig ist er für das organische Leben. Die Pflanzen nehmen vorzugsweise durch die Blätter Kohlensäure aus der Luft auf und hauchen Sauerstoff wieder aus, während Kohlenstoff als Bestandtheil der Pflanzen zurückbleibt. Während aber einerseits durch die Pflanzen der Luft Kohlensäure entzogen wird, wird ihr andererseits durch Verbrennung und durch das thierische Leben Kohlensäure zugeführt.

Die meisten brennbaren Substanzen, Holz, Steinkohlen, Brennöl, Talg 2c., enthalten Kohlenstoff und Wasserstoff. Ihre Verbrennung ist nichts anderes, als eine Verbindung ihrer Bestandtheile mit Sauerstoff; durch eine solche Verbrennung wird also Kohlensäure und Wasserdampf erzeugt.

Alle Thiere athmen Sauerstoff ein und athmen Kohlensäure aus. Der eingeathmete Sauerstoff verbindet sich im Innern des Körpers mit dem im Blute enthaltenen Kohlenstoff, welcher demselben durch die genossenen kohlenstoffhaltigen Lebensmittel zugeführt wird. Die im Körper vor sich gehende langsame Verbindung des Kohlenstoffs mit dem eingeathmeten Sauerstoff (langsame Verbrennung) ist die Quelle der thierischen Wärme.

Die Kohlensäure ist schwerer als atmosphärische Luft, und zwar wiegt ein Liter Kohlensäure ungefähr $1^1/_2$ mal so viel, als ein Liter Luft unter gleichem Druck; dessen ungeachtet verbreitet sich die Kohlensäure allmälig gleichförmig in der Luft, wie der aufgelöste Zucker sich allmälig gleichförmig in dem Wasser verbreitet.

Das Bindungsgewicht des Kohlenstoffes ist 6 und zwar verbindet sich 1 Bin-

bungsgewicht Kohlenstoff (6) mit 2 Bindungsgewichten Sauerstoff (2 . 8 = 16) zu 1 Bindungsgewicht Kohlensäure (6 + 16 = 22).

Bei ungenügendem Luftzutritt verbrennt die Kohle nicht vollständig; es bildet sich alsdann Kohlenoxydgas, welches auf 6 Gewichtstheile Kohle nur 8 Gewichtstheile Sauerstoff enthält. Dieses Gas ist farb- und geruchlos, wirkt aber giftig auf die Athmungsorgane und hat schon manchen Erstickungstod veranlaßt, wenn die Luft in Schlafzimmern in Folge unvollständiger Verbrennung in den Oefen und zu frühen Schließens der Ofenklappen nur einige Procente Kohlenoxydgas enthalten hat.

Der Stickstoff brennt nicht, wie wir auf Seite 21 gesehen haben; direct verbindet er sich also nicht mit Sauerstoff. Unter Umständen aber, die wir jedoch hier nicht betrachten können, findet doch eine Oxydation des Stickstoffs statt und zwar giebt es mehrere Oxydationsstufen desselben, von denen die wichtigste die Salpetersäure ist, welche auf 14 Gewichtstheile Stickstoff 40 Gewichtstheile Sauerstoff enthält; 1 Bindungsgewicht Stickstoff + 5 Bindungsgewichte Sauerstoff (40 = 5 . 8) bilden also 1 Bindungsgewicht (54) Salpetersäure. Diese Verbindung kann aber für sich nicht bestehen, ohne in ihre Bestandtheile zu zerfallen, wenn sie nicht noch Wasser aufnimmt und zwar mindestens 9 Gewichtstheile Wasser auf 54 Gewichtstheile wasserfreier Salpetersäure. Die käufliche rohe Salpetersäure hat aber mindestens einen 3 mal größeren Wassergehalt und enthält auch noch sonstige Verunreinigungen.

Die wasserhaltige Salpetersäure wird auch Scheidewasser genannt.

Gießt man Salpetersäure auf Metallstücke, etwa auf Stücke von Blei, Kupfer oder Eisen, so entwickeln sich rothe Dämpfe von stechendem Geruch, welche die Athmungsorgane stark angreifen. Die Salpetersäure giebt nämlich einen Theil ihres Sauerstoffgehaltes an das Metall ab und es bildet sich salpetrige Säure, eine Verbindung von Stickstoff mit geringerem Sauerstoffgehalt, welche gasförmig entweicht.

Die oben besprochenen Säuren zeigen nun, wie Salzsäure, Kleesäure, Essigsäure rc., ein ähnliches Verhalten gegen Metalloxyde, indem sie sich mit ihnen zu einer Classe von Körpern verbinden, welche den Namen Salze führen, wenn sie in Wasser löslich sind. Einige dieser Verbindungen haben wir schon im Vorübergehen kennen gelernt, wir müssen sie aber nun noch etwas näher betrachten.

Verbindung von Säuren mit Basen. Bereits auf Seite 8 17
haben wir den Eisenvitriol kennen gelernt. Es ist dies eine Verbindung von Schwefelsäure mit Eisenoxydul, welche beim Krystallisiren noch eine gewisse Menge Wasser aufnimmt. Wird die Eisenfeile mit verdünnter Schwefelsäure übergossen, so entzieht nämlich das Eisen dem Wasser eine gewisse Menge Sauerstoff, 28 Gewichtstheile Eisen nehmen 8 Gewichtstheile Sauerstoff auf, um 36 Gewichtstheile Eisenoxydul zu bilden; 36 Gewichtstheile Eisenoxydul verbinden sich aber weiter mit 40 Gewichtstheilen (siehe Seite 25) Schwefelsäure zu 76 Gewichtstheilen schwefelsaurem Eisenoxydul.

1 Bindungsgewicht schwefelsaures Eisenoxydul (76) besteht also aus 1 Bindungsgewicht Eisenoxydul (36) mit 1 Bindungsgewicht Schwefelsäure (40).

In den Krystallen des Eisenvitriols sind aber ferner mit 1 Bindungsgewicht schwefelsauren Eisenoxyduls noch 7 Bindungsgewichte Wasser (7 . 9 = 63) zu Eisenvitriol verbunden.

Solches Wasser, welches sich mit anderen Stoffen zu einem krystallisirten oder krystallinischen Körper verbindet, wird Krystallwasser genannt.

Es bilden ferner 1 Bindungsgewicht Kupferoxyd (39,5) mit 1 Bindungsgewicht Schwefelsäure (40), 79,5 Gewichtstheile schwefelsaures Kupferoxyd, welches mit 45 = 5 . 9 Gewichtstheilen Wasser zu Kupfervitriol krystallisirt.

Wenn man Krystalle von Kupfervitriol glüht, so zerfallen sie in ein weißes Pulver von schwefelsaurem Kupferoxyd, indem das Krystallwasser durch die Hitze ausgetrieben wird. Dieses weiße Pulver zieht allmälig wieder Wasser aus der Luft an und färbt sich dabei auch wieder blau.

Die 39,5 Gewichtstheile Kupferoxyd können aber durch 40,6 Gewichtstheile (1 Bindungsgewicht) Zinkoxyd ersetzt werden. 1 Bindungsgewicht schwefelsaures Zinkoxyd (80,6 = 40,6 + 40) bildet aber mit 7 Bindungsgewichten (7 . 9 = 63) Krystallwasser den Zinkvitriol.

Ebenso verbindet sich 1 Bindungsgewicht Schwefelsäure (40) mit 1 Bindungsgewicht Bleioxyd (112) zu schwefelsaurem Bleioxyd, welches krystallisirt in der Natur vorkommt und den Namen Bleivitriol führt.

Ferner verbinden sich 1 Bindungsgewicht Schwefelsäure (40) mit 1 Bindungsgewicht Kalkerde (28) zu schwefelsaurer Kalkerde, welche mit 2 Bindungsgewichten Wasser (2 . 9 = 18) den krystallisirten und krystallinischen Gyps bildet. Die Masse unserer Gypsfiguren besteht gleichfalls aus 1 Bindungsgewicht schwefelsaurer Kalkerde + 2 Bindungsgewichten Wasser. Durch Erhitzen kann das Wasser ausgetrieben werden und es bleibt dann die wasserfreie, schwefelsaure Kalkerde übrig, welche in pulverförmigem Zustand mit einer entsprechenden Menge Wasser zu einem Brei angerührt zum Gießen der Gipsfiguren angewendet wird.

1 Bindungsgewicht Schwefelsäure (40) bildet mit 1 Bindungsgewicht Barium (68,6) den Baryt, welcher auch Schwerspath genannt wird.

Ein Bindungsgewicht Schwefelsäure mit 1 Bindungsgewicht Bittererde (Magnesiumoxyd 12 + 8 = 20) und 7 Bindungsgewichte Wasser (7 . 9 = 63) das bekannte Bittersalz.

1 Bindungsgewicht Schwefelsäure (40) verbindet sich mit 1 Bindungsgewicht Kali (39 + 8 = 47) das schwefelsaure Kali.

1 Bindungsgewicht Schwefelsäure (40) verbindet sich mit 1 Bindungsgewicht Natron (23 + 8 = 31) zu schwefelsaurem Natron; 71 Gewichtstheile schwefelsaures Natron bilden aber mit 10 Bindungsgewichten Wasser (90) die Krystalle von Glaubersalz.

Schwefelsaure Thonerde verbindet sich mit schwefelsaurem Kali und 24 Bindungsgewichten Krystallwasser zu einem Doppelsalz, welches unter dem Namen Kalialaun bekannt ist. Wird in diesem Salze das Kali durch Natron ersetzt, so entsteht der Natronalaun.

18 **Die salpetersauren und kohlensauren Salze.** Wie sich die Schwefelsäure mit den verschiedenen Metalloxyden verbindet, so verbinden sich auch

die anderen Säuren mit denselben und zwar nimmt dann 1 Bindungsgewicht der fraglichen Säure die Stelle von 1 Bindungsgewicht Schwefelsäure ein, so z. B. 54 Gewichtstheile Salpetersäure oder 22 Gewichtstheile Kohlensäure die Stelle von 40 Gewichtstheilen Schwefelsäure.

Hier kann nur von solchen salpetersauren Salzen die Rede sein, welche allgemeiner bekannt sind, vor Allem also vom salpetersauren Kali (54 Gewichtstheile Salpetersäure mit 47 Kali), welches gewöhnlich Salpeter genannt wird. Der Salpeter enthält kein Krystallwasser, er wird vorzugsweise zur Fabrikation von Schießpulver angewandt, welches aus einem Gemenge von Salpeter, Kohle und Schwefel (Sprengpulver 62 Gewichtstheile Salpeter, 18 Kohle und 20 Schwefel) besteht. Die Wirkung des Schießpulvers beruht darauf, daß bei seiner Entzündung von der Salpetersäure eine große Menge Sauerstoff abgegeben wird, und dieser sich mit der Kohle zu Kohlensäure, mit dem Schwefel zu schwefliger Säure verbindet, Stoffe, welche gasförmig sind, sich also bei ihrer Bildung zu einem ungeheuern Raum ausdehnen müssen.

Im salpetersauren Natron (dem Chilisalpeter, weil dieses Salz in Chili mächtige Lager bildet) ist das Kali des Salpeters durch Natron ersetzt. Man kann es zur Pulverfabrikation nicht brauchen, weil dieses Salz Wasser aus der Luft anzieht.

In den Verbindungen mit Metalloxyden vertreten stets 22 Gewichtstheile Kohlensäure die Stelle von 40 Gewichtstheilen Schwefelsäure. Von den kohlensauren Verbindungen haben wir die kohlensaure Kalkerde bereits kennen gelernt; auch vom kohlensauren Kali, der Potasche und dem kohlensauren Natron, der Soda, war bereits die Rede. Wird einer Auflösung von Potasche oder Soda eine Säure, etwa Schwefelsäure, Salpetersäure rc., zugesetzt, so entsteht ein heftiges Aufbrausen, welches daher rührt, daß die Kohlensäure ausgetrieben wird, wie wir es bereits beim kohlensauren Kalk gesehen haben (Seite 28). Die Potasche wird größtentheils durch Auslaugen der Holzasche, die Soda aber durch Auslaugen der Asche von Meerespflanzen, in neuerer Zeit aber vorzugsweise in eigenen Fabriken aus Kochsalz gewonnen.

Die Kieselerde. Erst jetzt, nachdem wir das Verhältniß zwischen Säuren und Basen kennen gelernt haben, können wir uns über die Kieselerde verständlich machen. Die Kieselerde, oft auch bloß Kiesel oder Quarz genannt, ist die Verbindung eines nur durch schwierige chemische Operationen darstellbaren Elementes, des Siliciums mit Sauerstoff. Sie ist in unseren Gebirgen sehr verbreitet und in reinster krystallisirter Form als Bergkrystall bekannt. Der Sand besteht vorzugsweise aus Quarzkörnern. In ihrer äußeren Erscheinung hat die Kieselerde große Aehnlichkeit mit der Thonerde, indem der Bergkrystall (zu dem auch Rauchquarz und Amethyst gehört) dem Korund, Saphir und Rubin, die mehr undurchsichtigen und unreineren Varietäten des Quarzes aber dem Smirgel entsprechen. Während aber in dieser Hinsicht die Kieselerde Aehnlichkeit mit der Thonerde zeigt, ist dies in Betreff ihres chemischen Verhaltens nicht der Fall. Während die Thonerde sich mit Säuren verbindet, thut dies die Kieselerde nicht, im Gegentheil verbindet sich die Kieselerde mit Metalloxyden; sie ver- 19

hält sich also in dieser Hinsicht wie eine Säure und wird deshalb **Kieselsäure** genannt.

Wir haben auf Seite 17 gesehen, daß der **Thon** mehr oder weniger reine **kieselsaure Thonerde** ist, welche stets eine Quantität Wasser gebunden enthält.

Eine sehr verbreitete Verbindung der Kieselerde ist der **Feldspath**. Er ist gleichsam ein Doppelsalz, bestehend aus kieselsaurer Thonerde mit kieselsaurem Kali (Kalifeldspath) oder aus kieselsaurer Thonerde mit kieselsaurem Natron (Natronfeldspath). Wie man sieht, besteht in Betreff der Zusammensetzung große Aehnlichkeit zwischen Feldspath und Alaun. Im Feldspath spielt Kieselsäure dieselbe Rolle, wie im Alaun die Schwefelsäure, nur enthält der Alaun noch Krystallwasser, der Feldspath aber nicht.

Der **reine Thon** ist selbst im stärksten Ofenfeuer **unschmelzbar**; und selbst der **Lehm**, welcher mehr oder weniger verunreinigter Thon ist, ist schwer schmelzbar. Mit Wasser angemacht, bildet er einen zähen Brei, welcher sich beliebig formen läßt. Gefäße, welche auf diese Weise hergestellt sind, verlieren beim Brennen ihr Wasser und verwandeln sich in eine feste, aber poröse Masse (kölnische Pfeifen, Blumentöpfe, Ziegel ꝛc.) und Gefäße aus solcher Masse hergestellt, können nicht zur Aufbewahrung von Flüssigkeiten dienen, weil sie durch dieselben durchsickern. Um die Gefäße zu diesem Zwecke brauchbar zu machen, werden sie mit einer **Glasur** versehen, d. h., die Oberfläche wird mit einem Gemenge von Thon und Bleiglätte überzogen, welches im Ofen zu einer glasigen Masse schmilzt, während das Innere der Gefäßmasse ungeschmolzen bleibt (Fayence, ordinäre Töpferwaare).

Durch Zusatz von Kalkerde, Eisenoxyd und Alkalien werden Verbindungen hergestellt, welche viel leichter schmelzbar sind, als der Thon. Dies ist z. B. beim **Feldspath** der Fall. Bei der Herstellung des echten **Porzellans** wird der reine Thon mit einer feingepulverten feldspathartigen Masse gemengt und die aus diesem Gemenge hergestellten Gefäße werden im Ofen bis zur beginnenden Schmelzung des feldspathigen Zusatzes erhitzt, weshalb auch das Porzellan durchscheinend ist.

Das **Glas** ist meist eine zusammengeschmolzene Masse von kieselsaurem Kalk mit kieselsaurem Kali oder kohlensaurem Natron. Durch Zusatz von Bleiglätte wird es noch leichter schmelzbar.

20 **Schwefel- und Chlorverbindungen.** Wir haben uns bisher nur mit Sauerstoffverbindungen beschäftigt, wir müssen aber, wenn auch nur kurz, die Verbindungen des Schwefels und des Chlors mit anderen Elementen betrachten.

Es verbindet sich 1 Bindungsgewicht Blei (104) mit 1 Bindungsgewicht Schwefel (16) zu **Bleiglanz**.

Der **Kupferglanz** besteht aus 2 Bindungsgewichten Kupfer mit 1 Bindungsgewicht Schwefel.

Im **Schwefelkies**, **Eisenkies** ist 1 Bindungsgewicht Eisen mit 2 Bindungsgewichten Schwefel verbunden.

Der als schöne rothe Farbe bekannte **Zinnober** besteht aus 1 Bindungsgewicht Quecksilber mit 1 Bindungsgewicht Schwefel.

Ein sehr lehrreiches Beispiel chemischer Verbindung ist der Schwefelkohlenstoff, eine Verbindung von 1 Bindungsgewicht Kohlenstoff mit 2 Bindungsgewichten Schwefel. Wenn man Schwefel und Kohle fein gepulvert in dem angegebenen Verhältniß mischt und noch so lange unter einander reibt, so erhält man doch nur ein pulverförmiges Gemenge und niemals eine chemische Verbindung, welche sich bildet, wenn man in einer Weise, welche freilich hier nicht besprochen werden kann, Schwefeldampf auf glühende Kohlen einwirken läßt. Der Schwefelkohlenstoff ist eine wasserhelle, knoblauchartig riechende, brennbare Flüssigkeit, welche schwerer ist, als ein gleiches Raummaaß Wasser. Der Schwefelkohlenstoff hat also, wie dies bei den meisten chemischen Verbindungen der Fall ist, gar keine Aehnlichkeit mit den Bestandtheilen, aus denen er zusammengesetzt ist.

Das Chlor verbindet sich mit allen Metallen zu salzartigen Körpern, z. B. mit Silber zu Chlorsilber, mit Kupfer zu Chlorkupfer, mit Blei zu Chlorblei 2c. Von allen diesen Verbindungen hat nur eine eine allgemeinere Bedeutung: das Chlornatrium, welches eine Verbindung ist von 1 Bindungsgewicht Natrium mit 1 Bindungsgewicht Chlor. Diese in der Natur vielfach verbreitete Verbindung ist unter dem Namen Kochsalz allgemein bekannt und benutzt. Dem Chlornatrium sehr ähnlich, aber bei Weitem nicht so verbreitet, ist das Chlorkalium; das Chlormagnesium giebt, wenn es in geringen Mengen dem Kochsalz beigemengt ist, demselben einen besonders starken Geschmack und macht, daß es stets etwas feucht bleibt, weil es Wasser aus der Luft anzieht.

Tabellarische Zusammenstellung der Bindungsgewichte der verbreitetsten Körper. 21 Zur Einübung und besseren Uebersicht der bisher besprochenen chemischen Verbindungen mag hier eine Zusammenstellung ihrer Bindungsgewichte folgen:

Einfache Stoffe.

Metalle.

1 Bindungsgewicht	Silber	108	1 Bindungsgewicht	Zink	32,6
1 "	Quecksilber	100	1 "	Aluminium	13,7
1 "	Kupfer	31,5	1 "	Calcium	20
1 "	Blei	104	1 "	Natrium	23
1 "	Eisen	28	1 "	Kalium	39

Nicht metallische Elemente.

1 Bindungsgewicht	Wasserstoff	1	1 Bindungsgewicht	Chlor	35,5
1 "	Sauerstoff	8	1 "	Phosphor	31
1 "	Schwefel	16	1 "	Silicium	14,2
1 "	Stickstoff	14	1 "	Kohlenstoff	6

Verbindungen je zweier Elemente.

Metalloxyde.

1 Bindungsgewicht Quecksilber = 100 }
1 " Sauerstoff = 8 } = 1 Bindungsg. Quecksilberoxyd = 108

1	Bindungsgewicht	Kupfer	= 31,5	= 1 Bindungsg.	Kupferoxyd	= 39,5
1	"	Sauerstoff	= 8			
2	"	Kupfer	= 63	= 1 "	Kupferoxydul	= 71
1	"	Sauerstoff	= 8			
1	"	Blei	= 104	= 1 "	Bleioxyd	112
1	"	Sauerstoff	= 8			
1	"	Eisen	= 28	= 1 "	Eisenoxydul	= 36
1	"	Sauerstoff	= 8			
2	"	Eisen	= 56	= 1 "	Eisenoxyd	= 80
3	"	Sauerstoff	= 24			
1	"	Zink	= 32,6	= 1 "	Zinkoxyd	= 40,6
1	"	Sauerstoff	= 8			
2	"	Aluminium	= 27,4	= 1 "	Thonerde	= 51,4
3	"	Sauerstoff	= 24			
1	"	Calcium	= 20	= 1 "	Kalkerde	= 28
1	"	Sauerstoff	= 8			
1	"	Magnesium	= 12	= 1 "	Magnesia	= 20
1	"	Sauerstoff	= 8			
1	"	Natrium	= 23	= 1 "	Natron	= 31
1	"	Sauerstoff	= 8			
1	"	Kalium	= 39	= 1 "	Kali	= 47
1	"	Sauerstoff	= 8			

Oxyde nicht metallischer Stoffe.

1	Bindungsgewicht	Wasserstoff	= 1	= 1 Bindungsg.	Wasser	= 9
1	"	Sauerstoff	= 8			
1	"	Schwefel	= 16	= 1 "	Schwefelsäure	= 40
3	"	Sauerstoff	= 24			
1	"	Kohlenstoff	= 6	= 1 "	Kohlensäure	= 22
2	"	Sauerstoff	= 16			
1	"	Stickstoff	= 14	= 1 "	Salpetersäure	= 54
5	"	Sauerstoff	= 40			
1	"	Silicium	= 14,2	= 1 "	Kieselsäure	= 30,2
2	"	Sauerstoff	= 16			

Schwefel= und Chlorverbindungen.

1	Bindungsgewicht	Blei	= 104	= 1 Bindungsg.	Bleiglanz	= 120
1	"	Schwefel	= 16			
2	"	Kupfer	= 63	= 1 "	Kupferkies	= 79
1	"	Schwefel	= 16			
1	"	Eisen	= 28	= 1 "	Schwefelkies	= 60
2	"	Schwefel	= 32			
1	"	Natrium	= 23	= 1 "	Chlornatrium	= 58,5
1	"	Chlor	= 35,5		(Kochsalz)	
1	"	Kalium	= 39	= 1 Bindungsg.	Chlorkalium	= 74,5
1	"	Chlor	= 35,5			

Sauerstoffsalze.

1 Bindungsgew.	Schwefelsäure	= 40	= 1 Bindungsg. Zinkvitriol	= 143,6
1 "	Zinkoxyd	= 40,6		
7 "	Wasser	= 63		
1 "	Schwefelsäure	= 40	= 1 " Eisenvitriol	= 139
1 "	Eisenoxydul	= 36		
7 "	Wasser	= 63		
1 "	Schwefelsäure	= 40	= 1 " Gyps	= 86
1 "	Kalkerde	= 28		
2 "	Wasser	= 18		
1 "	Schwefelsäure	= 40	= 1 " Schwefelsaures Kali	= 87
1 "	Kali	= 47		
1 "	Schwefelsäure	= 40	= 1 " Glaubersalz	= 161
1 "	Natron	= 31		
10 "	Wasser	= 90		
1 "	Salpetersäure	= 54	= 1 " Salpeter	= 101
1 "	Kali	= 47		
1 "	Salpetersäure	= 54	= 1 " Natronsalpeter	= 85
1 "	Natron	= 31		
1 "	Kohlensäure	= 22	= 1 " Kohlensaure Kalkerde (Kalkstein)	= 50
1 "	Kalkerde	= 28		
1 "	Kohlensäure	= 22	= 1 " Kohlensaures Kali (Potasche)	= 69
1 "	Kali	= 47		
1 "	Kohlensäure	= 22	= 1 " Kohlensaures Natron (Soda)	= 53
1 "	Natron	= 31		

Doppelsalze.

1 Bindungsgewicht	schwefelsaure Thonerde	= 91,4	= 1 Bindungsg. Kalialaun	= 394,4
1 "	Schwefelsaures Kali	= 87		
24 "	Wasser	= 216		
1 "	Schwefelsaure Thonerde	= 91,4	= 1 " Natronalaun	= 378,4
1 "	Schwefelsaures Natron	= 71		
24 "	Wasser	= 216		
1 "	Thonerde	= 51,4	= 1 " Kalifeldspath	= 279,6
1 "	Kali	= 47		
6 "	Kieselsäure	= 181,2		

22 **Die organischen Stoffe.** Alle bisher betrachteten Körper gehören der leblosen Natur an. Ganz andere Verbindungen sind es, aus welchen die lebenden Wesen, Thiere sowohl wie Pflanzen bestehen. Fleisch und Blut, Holz und Stärkemehl ꝛc. sind Stoffe, die mit den bisher betrachteten wenig Aehnlichkeit haben und die man organische nennt, weil sie die Bestandtheile der organischen, der lebenden Wesen bilden. Die organischen Stoffe bestehen vorzugsweise aus Kohlenstoff, Stickstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, welche in ihnen in mannigfaltigen Verhältnissen zusammentreten.

Die organischen Verbindungen sind viel complicirter als die bisher betrachteten unorganischen Verbindungen und zeichnen sich vor ihnen auch durch eine viel geringere Beständigkeit aus, indem sie leicht in ihre Bestandtheile zerfallen oder durch die Einwirkung fremder Stoffe zersetzt werden (Fäulniß, Verwesung ꝛc. Die chemische Beschaffenheit der organischen Stoffe ist unendlich viel schwieriger zu verfolgen als die der unorganischen, weshalb denn hier auch kein Versuch gemacht werden kann, ein Verständniß auch nur der wichtigsten organischen Verbindungen zu vermitteln.

Zweites Buch.

Die Mechanik oder die Gesetze des Gleichgewichtes und der Bewegung.

Das Beharrungsvermögen. In einem Eisenbahnwagen, welcher 23
mit größter Geschwindigkeit dahinsaust, kann man so sicher stehen, man kann in demselben eben so ungestört hin und hergehen, als ob er ganz still stände. Wenn aber der rasch dahinfahrende Wagen plötzlich angehalten wird, stürzt der Oberkörper mit gefährlicher Geschwindigkeit vorwärts.

Umgekehrt stürzt der Oberkörper rückwärts, wenn man in einem ruhenden Wagen steht und derselbe auf einmal rasch vorangeschoben wird.

Aehnliche Erscheinungen, die man im alltäglichen Leben vielfach zu beobachten Gelegenheit hat, sind die Folge einer allgemeinen Eigenschaft der Körper, welche man unpassender Weise mit dem Namen der Trägheit bezeichnet und welche man viel besser auch Beharrungsvermögen nennt.

Nach dem Gesetz der Trägheit beharrt jeder Körper in demjenigen Bewegungszustand, in welchem er sich gerade befindet, so lange nicht äußere Kräfte oder Widerstände eine Aenderung dieses Zustandes bewirken. Ein Körper also, welcher sich in Bewegung befindet, würde sich in alle Ewigkeit in gerader Linie mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortbewegen, wenn es möglich wäre, ihn für immer der Einwirkung äußerer Kräfte zu entziehen. Wenn wir also sehen, daß die Geschwindigkeit eines bewegten Körpers zu- oder abnimmt, daß er stetig von seiner Richtung abweicht, daß er also nicht eine gerade, sondern eine krumme Linie beschreibt, so rührt dies von äußeren Kräften her, welche stetig den durch die Trägheit bedingten Bewegungszustand ändern. Jede Bewegung eines Körpers, die wir beobachten, ist eine zusammengesetzte Wirkung seiner Trägheit und der auf ihn wirkenden Kräfte.

Das Gesetz der Trägheit ist unbedingt die bedeutendste Entdeckung Galiläi's, welcher in demselben den Schlüssel zum Verständniß der verschiedenen Bewegungserscheinungen fand. Die Wichtigkeit dieses Gesetzes macht es nothwendig, etwas ausführlicher darauf einzugehen, als es beim elementaren Unterricht sonst wohl zu geschehen pflegt.

Die Eingangs dieses Capitels erwähnte Erscheinung ist nun in folgender Weise zu erklären: Der Körper des im Eisenbahnwagen fahrenden Mannes nimmt vollständig an der Bewegung des Wagens Theil, er hat gleiche Geschwindigkeit mit demselben; wird nun der Wagen plötzlich angehalten, so werden auch seine auf dem Boden des Wagens stehenden Füße angehalten, während sein Oberkörper nach dem Gesetz der Trägheit seine Bewegung ungeändert fortzusetzen strebt, also in der Richtung vorfällt, in welcher er sich bisher mit dem Wagen bewegte.

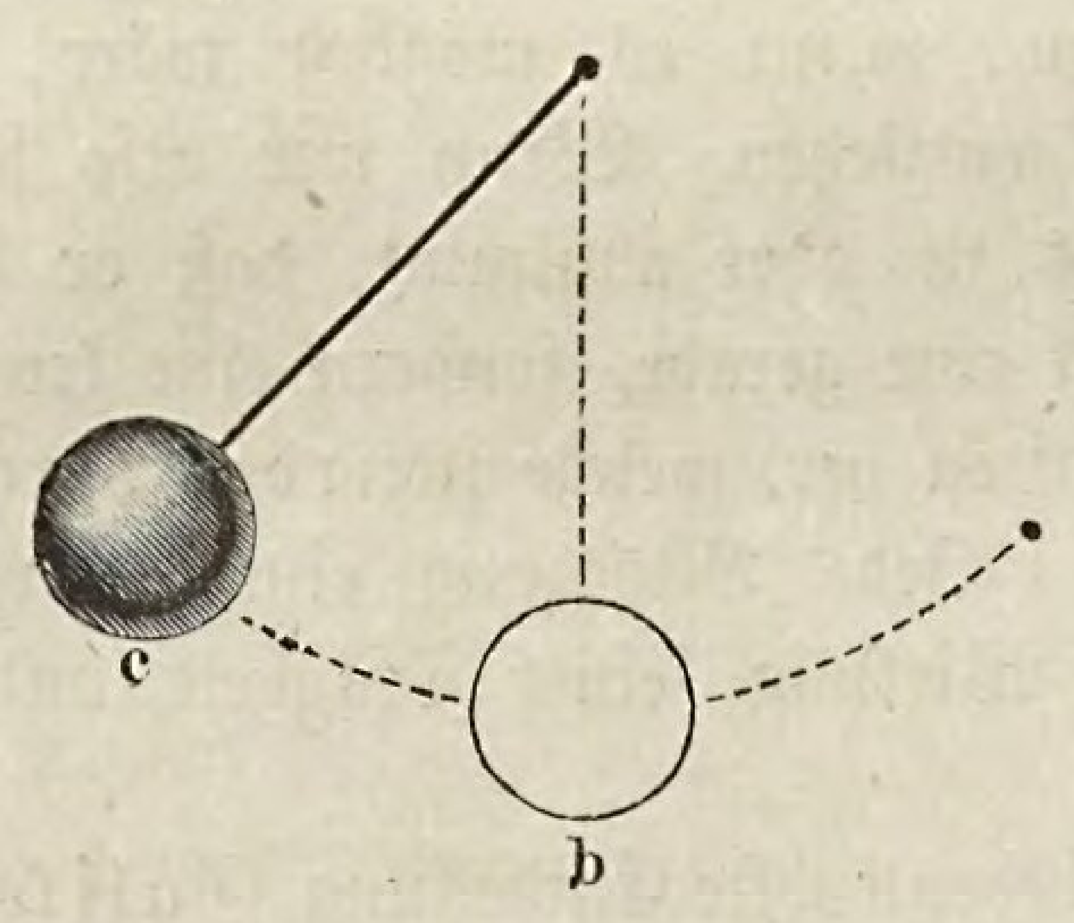
Steht der Mann in einem ruhenden Wagen, so ist auch sein ganzer Körper in Ruhe. Wird nun plötzlich der Wagen in Bewegung gesetzt, so werden auch die Füße mit fortgerissen, der Oberkörper hat aber ein Bestreben, in Ruhe zu bleiben, er kann der Bewegung der Füße nicht so schnell folgen, er muß also rückwärts fallen.

Wenn man über einen breiten Graben springen will, so nimmt man einen gehörigen Anlauf, damit die Sprungkraft der Beine durch die Geschwindigkeit des ganzen Körpers unterstützt wird, welche man demselben durch das Laufen mitgetheilt hat.

Während eine geworfene Kugel auf der Kegelbahn dahinrollt, wirkt keine treibende Kraft auf sie; nur vermöge des Beharrungsvermögens rollt sie weiter. Die Geschwindigkeit, welche die werfende Hand ihr mitgetheilt hat, nimmt freilich allmälig ab und wenn die Bahn lang genug wäre, würde die Kugel bald ganz zur Ruhe kommen; dies ist aber nur eine Folge der Reibung auf dem Boden, welche der Bewegung entgegen wirkt. Ohne Reibung und Luftwiderstand würde die Kugel ins Unendliche fortrollen, wenn die Bahn lang genug wäre.

Wenn eine schwere Kugel so an einer Schnur aufgehängt ist, daß ihr Mittelpunkt sich senkrecht unter dem Aufhängepunkt, wenn sie sich also bei *b*, Fig. 25, befindet, so findet vollständiges Gleichgewicht statt, die Kugel kommt von selbst nicht in Bewegung und es wirkt hier keine Kraft auf sie, welche sie in Bewegung setzen kann. Bringt man aber die Kugel aus ihrer Gleichgewichtslage heraus nach *c*, um sie alsdann loszulassen, so kehrt sie zunächst in ihre Gleichgewichtslage bei *b* zurück; obgleich aber hier keine Kraft sie weiter treibt, so setzt sie, vermöge des Beharrungsvermögens, ihre Bewegung doch fort und steigt auf der anderen Seite von *b* (fast) bis zu der gleichen Höhe, von welcher sie herabgekommen war.

Fig. 25.

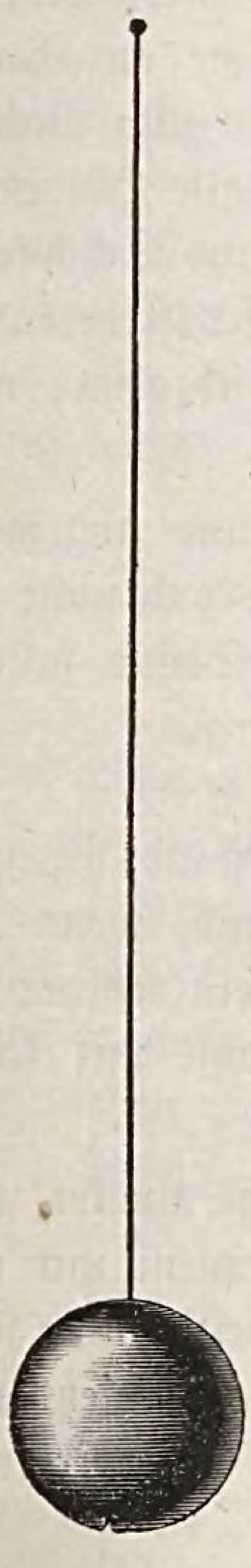


Diese Beispiele mögen genügen, um eine richtige Vorstellung von dem Wesen des Beharrungsvermögens, von dem Gesetze der Trägheit zu geben, deren Einfluß bei verschiedenen Bewegungserscheinungen wir noch weiter werden kennen lernen.

Die Trägheit (in dem eben besprochenen Sinne) ist eine allgemeine Eigenschaft aller in der Natur vorkommenden Stoffe.

Hängt man an einem 5 bis 10 Meter langen Seile eine Kugel (oder irgend einen anderen Körper) von 6 bis 25 Pfund Gewicht auf, so bedarf es einer kaum merklichen Kraft, um diese Masse langsam um $1/3$ bis $1/2$ Meter auf die Seite zu schieben, während es einer namhaften Kraftanstrengung bedarf, um die Kugel ebenso hoch in der Richtung des Seiles in die Höhe zu ziehen. Einer Verschiebung in wagerechter (horizontaler) Richtung setzt also das Gewicht der Kugel keinen Widerstand entgegen.

Fig. 26.



Will man aber die am Seile hängende Kugel rasch durch einen Stoß mit der Hand auf die Seite werfen, so wird man einen namhaften Widerstand spüren, der um so größer ist, je größere Geschwindigkeit man der Kugel mitzutheilen bestrebt ist. Dieser Widerstand rührt aber, wie wir gesehen haben, durchaus nicht vom Gewichte der Kugel her, er ist nicht durch die Schwere derselben, sondern lediglich durch ihr Beharrungsvermögen bedingt.

Die Schwere. Schon im vorigen Paragraphen ist 24
bemerkt worden, daß in der ganzen Natur keine Bewegung rein nach dem Gesetz der Trägheit vor sich gehen kann, weil es unmöglich ist, einen Körper vollständig der Einwirkung verschiedener Kräfte zu entziehen. Unter den auf der Erdoberfläche thätigen bewegenden Kräften spielt aber die Schwere eine hervorragende Rolle und diese wollen wir zunächst näher betrachten.

Legt man irgend einen festen Körper, etwa eine eiserne Kugel, einen Stein 2c., auf die Hand, so fühlen wir einen Druck, welcher um so stärker wird, je größer die Masse des aufgelegten Körpers ist. Ziehen wir die Hand unter dem von ihr bisher getragenen Körper rasch weg, so fällt er, d. h. er bewegt sich gegen die Erdoberfläche hin und kommt nicht eher zur Ruhe, bis er von einer neuen Unterlage, dem Erdboden, aufgehalten wird.

Hier ist nun offenbar eine Kraft thätig, welche die Kugel, den Stein 2c. gegen die Erdoberfläche hintreibt; denn wenn man auch dem Stein seine Unterlage entzieht, so kann er sich nach dem Gesetz der Trägheit doch nicht von selbst in Bewegung setzen; wenn wir also sehen, daß er fällt, so müssen wir schließen, daß eine Kraft vorhanden ist, welche ihn zur Erdoberfläche hintreibt und welche sich als Druck geltend macht, wenn der Körper durch irgend eine Unterlage, oder als Zug, wenn er durch Aufhängung am Fallen gehindert ist.

Die Kraft, welche die Körper zur Erdoberfläche treibt, nennen wir die Schwere, und schwer nennen wir jeden Körper, auf welchen diese Kraft wirkt. Die Schwere beruht auf einer Anziehung, welche die ganze Erdkugel auf alle Körper ausübt, die sich auf oder über ihrer Oberfläche befinden.

Alle festen Körper sind schwer, ebenso die flüssigen, wie schon aus dem Fallen der Regentropfen hervorgeht. Daß auch die Luft und alle gasförmigen Kör-

per schwer sind, werden wir später sehen. Die Schwere ist also eine allgemeine Eigenschaft der Körper.

Die Schwere erstreckt sich bis in die größten Höhen unserer Erdatmosphäre, denn ein Stein, den man aus einem über den Wolken schwebenden Luftballon losläßt, fällt herab. Ja, Newton hat den Beweis geliefert, daß die anziehende Kraft der Erde sich über unsere Atmosphäre hinaus, daß sie sich bis zum Monde erstreckt, daß die Erde von der Sonne angezogen wird, kurz, daß alle Himmelskörper einander gegenseitig anziehen, daß die Schwere eine die ganze Schöpfung beherrschende Kraft ist, weshalb man auch die Massenanziehung, mittelst deren die Himmelskörper auf einander wirken, mit dem Namen der allgemeinen Schwere bezeichnet.

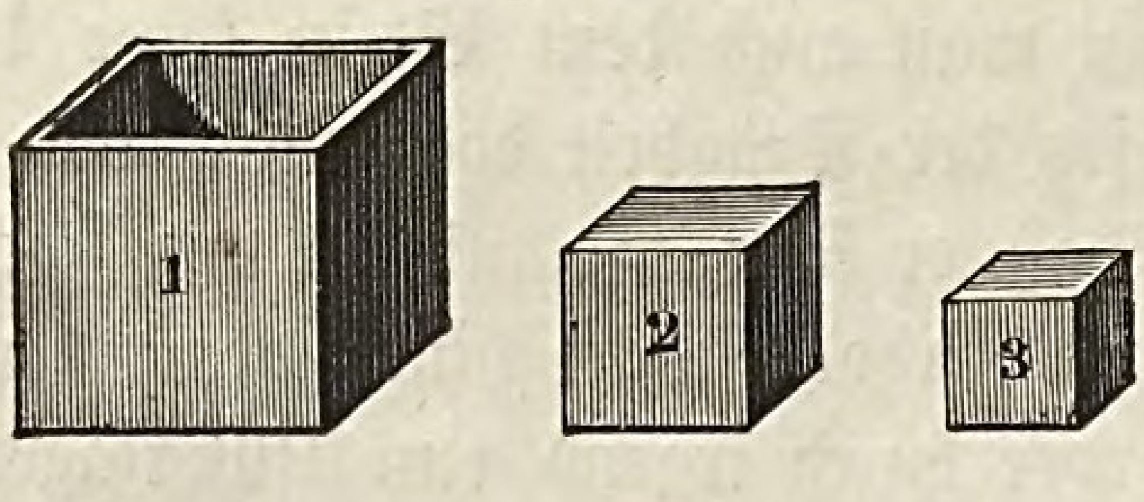
Wenn aber der Mond von der Erde, die Erde von der Sonne angezogen wird, so drängt sich die Frage auf, wie es denn komme, daß der Mond nicht auf die Erde, daß die Erde und alle anderen Planeten nicht auf die Sonne fallen? Auf die Beantwortung dieser Frage werden wir später zurückkommen.

25 **Das Gewicht.** Wenn wir einen Pfundstein auf die Hand legen, so spüren wir einen gewissen Druck; wir spüren einen stärkeren Druck, wenn wir einen Zweipfundstein auf die Hand legen. Der Druck, welchen ein Körper auf seine Unterlage ausübt, wächst also mit seiner Stoffmenge, er wächst mit seiner Masse.

Die Größe des Drucks, welchen ein Körper auf seine Unterlage ausübt, wird sein Gewicht genannt. Um das Gewicht verschiedener Körper bequem mit einander vergleichen zu können, muß man das Gewicht irgend eines bestimmten Körpers zur Einheit wählen. Bei dem französischen Maaßsystem, welches jetzt auch in Deutschland eingeführt ist, ist das Gramm die Gewichtseinheit. Das Gramm aber ist das Gewicht von 1 Kubikcentimeter Wasser.

Denken wir uns einen etwa aus Messingblech verfertigten Hohlwürfel Nr. 1, Fig. 27, an welchem jede innere Seite genau 1 Centimeter lang ist, dessen Hohlraum also 1 Kubikcentimeter beträgt, so ist das Gewicht der Wassermenge, welche diesen Hohlraum ausfüllt, 1 Gramm.

Fig. 27.



Ein Würfel Nr. 2, Fig. 27, aus Marmor, welcher gleichfalls 1 Gramm wiegt, muß namhaft kleiner, seine Seite muß 7 Millimeter (genauer 7,06 mm) lang sein. Ein Würfel Nr. 3, Fig. 27, von Messing aber, welcher einem Kubikcentimeter Wasser an Gewicht gleich sein soll, müßte noch kleiner, seine Seite müßte beinahe 5 mm (genau 4,92 mm) lang sein.

1 Kubikdecimeter enthält 1000 Kubikcentimeter, 1 Kubikdecimeter Wasser wiegt also 1000 Gramm oder 1 Kilogramm. Unser Pfund ist gleich $1/_2$ Kilogramm, das Pfund enthält also 500 Gramm.

Die Unterabtheilungen des Gramms sind:

$^1/_{10}$ Gramm = 1 Decigramm,
$^1/_{100}$ „ = 1 Centigramm,
$^1/_{1000}$ „ = 1 Milligramm.

1 Milligramm ist also das Gewicht von 1 Kubikmillimeter Wasser.

Das specifische Gewicht. Wir haben bereits gesehen, daß verschiedene Stoffe bei gleichem Gewichte keineswegs gleichen Raum einnehmen; so nimmt 1 Gramm Messing einen kleineren Raum ein, als 1 Gramm Marmor, und 1 Gramm Marmor nimmt wieder einen kleineren Raum ein, als 1 Gramm Wasser. Umgekehrt werden verschiedene Stoffe bei gleichem Rauminhalte (Volumen) ungleiches Gewicht haben: 26

1 Kubikcentimeter Wasser wiegt 1 Gramm,
1 „ Gold „ $19^3/_{10}$ „
1 „ Eisen „ $7^7/_{10}$ „
1 „ Glas „ $2^1/_2$ „ ꝛc.

Das Gold ist also $19^3/_{10}$, das Eisen ist $7^7/_{10}$, das Glas ist $2^1/_2$ mal so schwer, als ein gleiches Volumen Wasser.

Die Zahl nun, welche angiebt, wie viel mal ein aus einem bestimmten Stoff gebildeter Körper schwerer ist als eine Wassermasse von gleichem Rauminhalt, wird das *Eigengewicht* oder das *specifische Gewicht* des Stoffes genannt.

In diesem Sinne ist das Eigengewicht von

Platin . . .	22	Glas	$2^1/_2$
Gold . . .	$19^3/_{10}$	Porzellan	$2^3/_{10}$
Blei	$11^3/_{10}$	Elfenbein	$1^9/_{10}$
Silber . . .	$10^1/_2$	Eichenholz (alt) . . .	$1^2/_{10}$
Kupfer . . .	$8^8/_{10}$	Wachs (weißes) . . .	$^{97}/_{100}$
Eisen . . .	$7^7/_{10}$	Eis	$^{95}/_{100}$
Zinn . . .	$7^3/_{10}$	Hainbuchenholz } trocken	$^{77}/_{100}$
Marmor . .	$2^8/_{10}$	Tannenholz } trocken	$^{45}/_{100}$
Aluminium . .	$2^7/_{10}$	Kork } trocken	$^{24}/_{100}$

Es ist ferner das specifische Gewicht von

Quecksilber . . .	$13\ ^6/_{10}$	Mohnöl	$^{93}/_{100}$
Schwefelsäure, englische	$1^{84}/_{100}$	Terpentinöl	$^{87}/_{100}$
Schwefelkohlenstoff .	$1^{27}/_{100}$	Benzol	$^{87}/_{100}$
Glycerin	$1^{26}/_{100}$	Alkohol (absol.)	$^{79}/_{100}$
Rheinwein	$^{99}/_{100}$	Aether	$^{71}/_{100}$

Unter den verschiedenen Methoden, das specifische Gewicht fester Stoffe zu bestimmen, ist hier vorerst die folgende zu erwähnen. Man bilde aus dem zu bestimmenden Stoff einen Langwürfel, dessen Rauminhalt man leicht aus der gemessenen Länge der Seiten berechnen kann; mit der so gefundenen Zahl, welche angiebt, wie viel Gramm eine Wassermasse von gleichem Rauminhalt wiegt, dividirt man dann in das durch Wägung gefundene Gewicht; der gefundene Quotient giebt das gesuchte Eigengewicht des fraglichen Stoffes an.

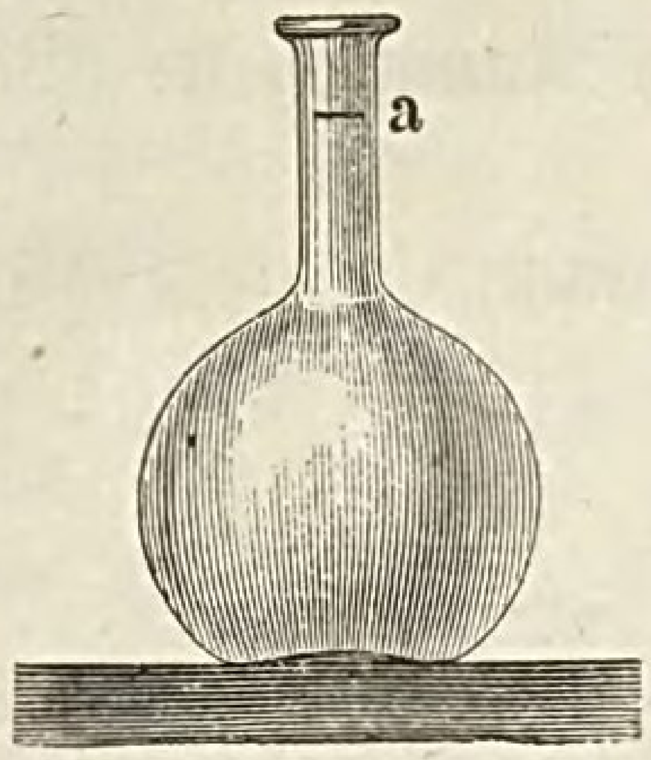
Man habe z. B. aus Marmor einen Langwürfel gebildet, der 5 Centimeter lang, 4 Centimeter breit und 3 Centimeter dick ist, so ist sein Körperinhalt

5 . 4 . 3 = 60; ein gleich großer Langwürfel von Wasser würde also 60 Gramm wiegen. Der aus Marmor gefertigte Langwürfel wiegt aber 168 Gramm, das Eigengewicht des Marmors ist demnach $^{168}/_{60} = ^{28}/_{10} = 2^{8}/_{10}$.

Ein gleich großer Langwürfel von frischem Tannenholz wiege 54 Gramm, so ist das specifische Gewicht dieses Holzes $^{54}/_{60} = ^{9}/_{10}$.

Sehr leicht kann man das specifische Gewicht von Flüssigkeiten bestimmen. Man setze auf eine Wagschale ein leeres Glasgefäß, Fig. 28, mit etwas engem Halse und lege auf die andere Wagschale so viel Schrotkörner oder Sand auf, bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist (d. h. man tarire das Glasgefäß). Nun gießt man das Gefäß bis zu der am Halse angebrachten Marke *a* voll Wasser und bestimme das Gewicht der eingegossenen Wassermenge. Es betrage z. B. 342 Gramm. Nachdem darauf das Wasser ausgegossen und das Glasgefäß gehörig getrocknet worden ist, gieße man es bis zur Marke voll mit derjenigen Flüssigkeit, deren Eigengewicht man bestimmen will; man gieße z. B. das Gefäß bis *a* voll Schwefelkohlenstoff und wäge abermals; der eingegossene Schwefelkohlenstoff wiege nun 434 Gramm, so ist das Eigengewicht des Schwefelkohlenstoffs

Fig. 28.



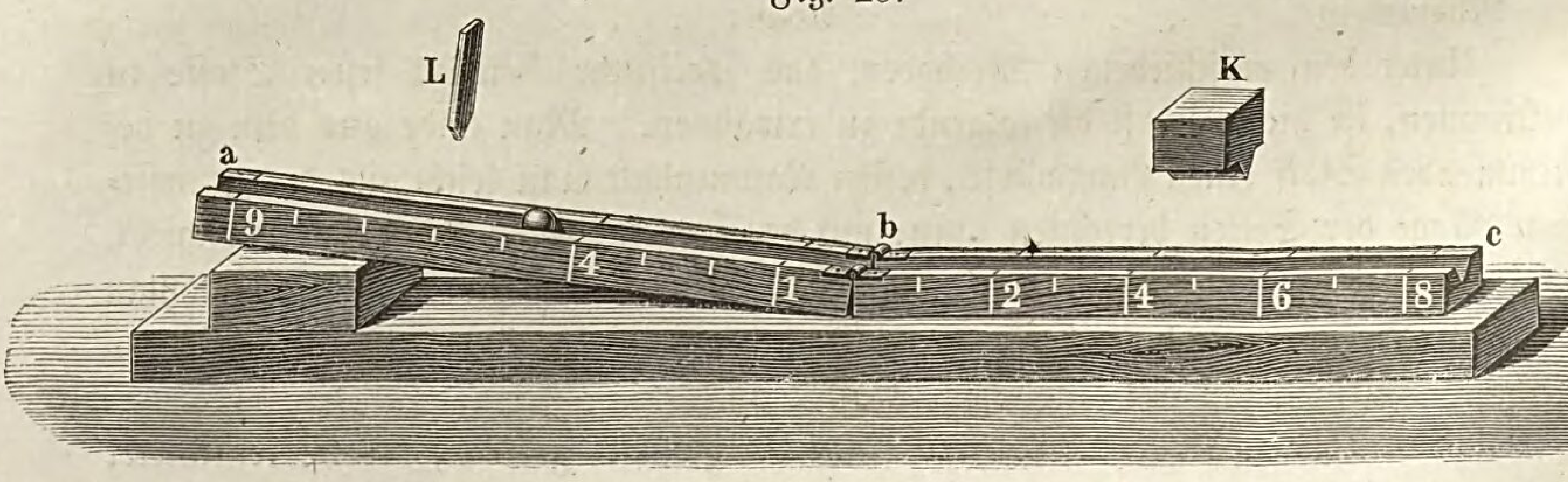
$$^{434}/_{342} = 1^{27}/_{100}.$$

Das Terpentinöl, welches dasselbe Gefäß bis zur Marke füllt, wiege 298 Gramm, so ist das specifische Gewicht des Terpentinöls

$$^{298}/_{342} = ^{87}/_{100}.$$

27 **Der freie Fall.** Es ist schon erwähnt worden, daß ein Körper fällt, wenn ihm seine Unterlage entzogen wird. Wenn nun ein Körper, etwa eine Bleikugel, eine gewisse Strecke durchfallen hat, so ist sie in Bewegung, sie würde also nach dem Gesetz der Trägheit ihre Bewegung auch dann noch fortsetzen, wenn von einem bestimmten Moment an die Schwerkraft aufhörte, auf sie zu wirken. Bei einem frei herabfallenden Körper läßt sich das freilich nicht bewerkstelligen, daß es aber doch so ist, läßt sich mit Hülfe der Fallrinne, Fig. 29, zeigen. *ab* sowohl wie *bc* sind hölzerne Rinnen, deren jede ungefähr 10 Decimeter (oder 10 Fuß) lang und durch zwei wohlpolirte unter rechtem

Fig. 29.



Winkel sich schneidende Ebenen gebildet ist. Bei *b* sind beide Rinnen durch ein Charnier verbunden; das Stück *bc* wird genau wagerecht gestellt, das Stück *ba* aber um einen beliebigen Winkel gegen die Wagerechte geneigt. Legt man eine Messingkugel von ungefähr 5 Centimeter Durchmesser auf irgend eine Stelle der Rinne *bc*, so bleibt sie ruhig liegen, weil ihre Schwerkraft vollständig durch den Widerstand der Unterlage aufgehoben ist, weil also keinerlei bewegende Kraft auf sie wirkt. Legt man aber dieselbe Kugel auf die geneigte Rinne *ab*, so rollt sie herab, weil ihre Schwere nur theilweise durch den Widerstand der Unterlage aufgehoben ist. Läßt man nun die Kugel auf der geneigten Ebene herabrollen, so wird sie, in *b* angekommen, nicht stehen bleiben, obgleich von *b* bis *c* keine beschleunigende Kraft auf sie wirkt. Auf dem wagerechten Stück *bc* der Rinne setzt die Kugel ihren Lauf lediglich nach dem Gesetz der Trägheit vermöge der Geschwindigkeit fort, die sie beim Herabrollen auf der schiefen Ebene erlangt hat. In *b* angekommen, hört die beschleunigende Kraft auf, auf sie zu wirken, und doch rollt sie weiter.

Die beschleunigende Kraft, welche die Kugel zur schiefen Ebene heruntertreibt, die Geschwindigkeit also, mit der sie herabrollt, wird um so kleiner, je kleiner der Winkel wird, den die schiefe Ebene *ab* mit der Wagerechten macht. Man kann also der schiefen Ebene *ab* eine solche Neigung geben, daß die Kugel in der ersten Fallsecunde gerade den Weg von 1 Decimeter (oder wenn man die Rinne lang genug macht, 1 Fuß) zurücklegt.

Um nun die Fallgesetze etwas genauer verfolgen zu können, wird die Fallrinne von *b* nach *a* hin und ebenso von *b* nach *c* hin in Decimeter (oder in Fuße) getheilt, wie die Figur zeigt. Die Rinne *ba* wird alsdann so geneigt, daß die Kugel in 1 Secunde gerade 1 Decimeter durchläuft. Zur Zeitmessung kann man eine Schwarzwälder Pendeluhr gebrauchen, deren Pendelschläge laut genug sind.

Um den Versuch zu machen, wird zunächst der Klotz *K* so gestellt, daß seine Vorderfläche (links) bei *b* gerade auf den Nullpunkt der Theilung zu stehen kommt. Läßt man dann die Kugel mittelst des Brettchens *L* bei einem Schlage des Secundenpendels bei 1 los, so wird sie beim nächsten Pendelschlage an den Klotz *K* anschlagen.

Läßt man die Kugel wieder bei einem bestimmten Pendelschlage bei 1 los, so schlägt sie bei dem darauf folgenden zweiten Pendelschlage an den Klotz *K* an, wenn dieser nicht bei 0, sondern wenn er bei 2 auf der Rinne *bc* steht. Wenn also die Kugel in 1 Secunde auf *ab* den Weg von 1 bis 0 herabgefallen ist, so hat sie nun eine solche Geschwindigkeit erlangt, daß sie in der nächsten Secunde auf *bc* von 0 bis 2 fortrollt.

Ließe man also die Kugel auf der schiefen Ebene *ab* von oben herabrollen, so durchliefe sie in der ersten Secunde einen Weg von 1 Decimeter und wenn am Ende der ersten Fallsecunde die Schwerkraft auf sie zu wirken aufhörte, so würde sie in der nächsten Secunde doch vermöge ihrer Trägheit noch 2 Decimeter weiter rollen. In der zweiten Fallsecunde wirkt aber die Schwere wie in der ersten; durch den Einfluß der Schwere allein durchläuft sie in der zweiten Secunde, wie in der ersten, einen Weg von 1 Decimeter. Der in der zweiten Fallsecunde durchlaufene Weg ist also $2 + 1 = 3$ Decimeter.

Wenn aber die Kugel in der zweiten Secunde den Weg von 3 Decimeter durchläuft, so beträgt der in der ersten und zweiten durchlaufene Weg $3+1=4$ Decimeter. Stellt man also den Klotz K bei 0 auf, läßt man die Kugel bei einem bestimmten Pendelschlage bei 4 auf ab los, so wird sie bei dem zweiten der folgenden Pendelschläge bei K anschlagen.

Die Kugel wird beim dritten Pendelschlage nach dem Loslassen bei 4 auf ab anschlagen, wenn man den Klotz K so stellt, daß seine Vorderfläche (links) bei 4 auf bc steht. In 2 Secunden von 4 bis b herabfallend erlangt also die Kugel eine Geschwindigkeit von 4 Decimetern. Läßt man also die Kugel auf ab von oben herabfallen, so ist ihr Fallraum in der dritten Secunde $4+1=5$ Decimeter und der Fallraum in drei Secunden $5+4=9$ Decimeter.

So kann man weiter schließen, daß die Endgeschwindigkeit der dritten Fallsecunde 6, also der Fallraum der vierten Secunde $6+1=7$ Decimeter ist, wonach sich für den Fallraum von 4 Secunden der Weg $7+9=16$ Decimeter ergiebt.

Der Uebersicht wegen wollen wir die gewonnenen Resultate noch einmal zusammenstellen. Wenn die schiefe Ebene so geneigt ist, daß der Fallraum der ersten Secunde 1 Decimeter beträgt, so ist der Fallraum

in der 1. Secunde	$1=1$
„ „ 2. „	$2+1=3$
„ „ 3. „	$4+1=5$
„ „ 4. „	$6+1=7$
„ „ 5. „	$8+1=9$ zc.

Kurz, der Weg, den die fallende Kugel während jeder Secunde zurücklegt, ist 1 + der Endgeschwindigkeit der vorhergehenden Secunde. Die Endgeschwindigkeit nimmt aber in jeder Secunde um gleich viel und zwar hier um 2 Decimeter zu.

Nach dem Obigen ist der Fallraum in

1 Secunde	$1 = 1 = 1.1$
2 Secunden . .	$3 + 1 = 4 = 2.2$
3 „ . .	$5 + 4 = 9 = 3.3$
4 „ . .	$7 + 9 = 16 = 4.4$
5 „ . .	$9 + 16 = 25 = 5.5$
6 „ . .	$11 + 25 = 36 = 6.6$ zc.

Beim freien Fall sind bei gleichen Fallzeiten die Fallräume **viel** größer. Ein frei fallender Körper durchfällt in einer Secunde 49 Decimeter. Bei dem freien Fall sind also die Fallräume in

1 Secunde	$1.49 = 49$	Decimeter
2 Secunden	$4.49 = 196$	„
3 „	$9.49 = 441$	„
4 „	$16.49 = 784$	„ zc.,

oder auch in

I.	1 Secunde	$15 = 15$	Fuß (ungefähr)
	2 Secunden	$4.15 = 60$	„
	3 „	$9.15 = 135$	„
	4 „	$16.15 = 240$	„

Es ist ferner in runder Zahl die Endgeschwindigkeit

II.	der 1. Secunde	. . .	30 Fuß
	„ 2. „	. . .	60 „
	„ 3. „	. . .	90 „
	„ 4. „	. . .	120 „

Die Kugel durchfällt also

III.	in der 1. Secunde	. . . .	15 Fuß
	„ „ 2. „	. . . .	45 „
	„ „ 3. „	. . . .	75 „
	„ „ 4. „	. . . .	105 „ ꝛc.

Eine 2, 3, 4 ꝛc. Pfund schwere Bleikugel fällt nicht schneller als eine solche, welche nur 1 Pfund wiegt. Allerdings wird die 2 mal, 3 mal, 4 mal so schwere Kugel durch eine 2 mal, 3 mal, 4 mal größere Kraft niedergetrieben, diese wirkt aber auch auf eine 2 mal, 3 mal, 4 mal größere Masse.

Eine Kugel von Messing oder von Eisen fällt wohl eben so schnell, wie eine solche von Blei; wenn man aber von einem hohen Thurme herab genau gleichzeitig eine Kugel von Blei und eine solche von Holz fallen läßt, so wird die Holzkugel etwas später auf den Boden aufschlagen als die Bleikugel. Noch auffallender wird der Unterschied, wenn man Körper von sehr geringem Eigengewicht fallen läßt, dessen Oberfläche sehr groß ist im Verhältniß zu seinem Gewicht, wie dies z. B. der Fall ist bei einer Flaumfeder, bei einer Seifenblase ꝛc. Bei solchen Körpern macht sich der Widerstand der Luft schon bei geringeren Geschwindigkeiten geltend. Im luftleeren Raume fallen alle Körper, aus welchen Stoffen sie auch gebildet sein mögen, gleich schnell.

Wurfbewegung. Wenn ein Körper in senkrechter Richtung in die 28
Höhe geworfen wird, so würde er nach dem Gesetz der Trägheit bis ins Unendliche mit stets gleicher Geschwindigkeit steigen. Allein die Schwerkraft wirkt stetig auf ihn und bewirkt, daß seine Geschwindigkeit fortwährend abnimmt, bis sie gleich Null geworden ist. In diesem Moment hört das Steigen auf und der Körper beginnt zu fallen. Nehmen wir z. B. an, eine Bleikugel sei mit einer Geschwindigkeit von 120 Fuß in die Höhe geworfen worden, so wird ihre nach oben gerichtete Geschwindigkeit in jeder Secunde um 30 Fuß abnehmen, da ja die Schwerkraft die Geschwindigkeit des fallenden Körpers nach unten in jeder Secunde um 30 Fuß vermehrt. Es ist also für die mit 120 Fuß Geschwindigkeit senkrecht in die Höhe geworfene Kugel die ihr bleibende Geschwindigkeit

nach 1 Secunde	. . .	$120 - 30 = 90$	Fuß
„ 2 Secunden	. . .	$120 - 60 = 60$	„
„ 3 „	. . .	$120 - 90 = 30$	„
„ 4 „	. . .	$120 - 120 = 0$	„

Eben so können wir leicht berechnen, wie hoch der aufrecht geworfene Körper nach 1, 2, 3 ꝛc. Secunden steigen wird. Ohne die Schwerkraft würde er in 1, 2, 3, 4 ꝛc. Secunden die Höhe von $1 . 120 = 120$, $2 . 120 = 240$, $3 . 120 = 360$, in 4 Secunden $4 . 120 = 480$ Fuß erreicht haben. Von der jeweils zu erreichenden Höhe hat ihn aber die Schwerkraft in 1 Secunde um 15 Fuß,

in 2 Secunden um 60 Fuß, in 3 Secunden um 135 Fuß, in 4 Secunden um 240 Fuß herabgezogen. Die Höhe des steigenden Körpers ist also nach

1 Secunde	. . . . 120 — 15 = 105	Fuß
2 Secunden	. . . . 240 — 60 = 180	„
3 „	. . . . 360 — 135 = 225	„
4 „	. . . . 480 — 240 = 240	„

Sie steigt also

in der 1. Secunde	. . . 105	Fuß
„ „ 2. „	. . . 75	„
„ „ 3. „	. . . 45	„
„ „ 4. „	. . . 15	„

Nach 4 Secunden ist aber die Geschwindigkeit der Kugel gleich Null geworden, die Kugel, welche mit 120 Fuß Geschwindigkeit in die Höhe geworfen wurde, steigt also 4 Secunden lang, um eine Höhe von 240 Fuß zu erreichen und dann zu fallen. In 4 Secunden fällt sie aber dann wieder 240 Fuß herab. Zum Steigen braucht also die Kugel eben so viel Zeit als sie braucht, um vom Gipfel ihrer Bahn wieder zu ihrem Ausgangspunkt herabzufallen.

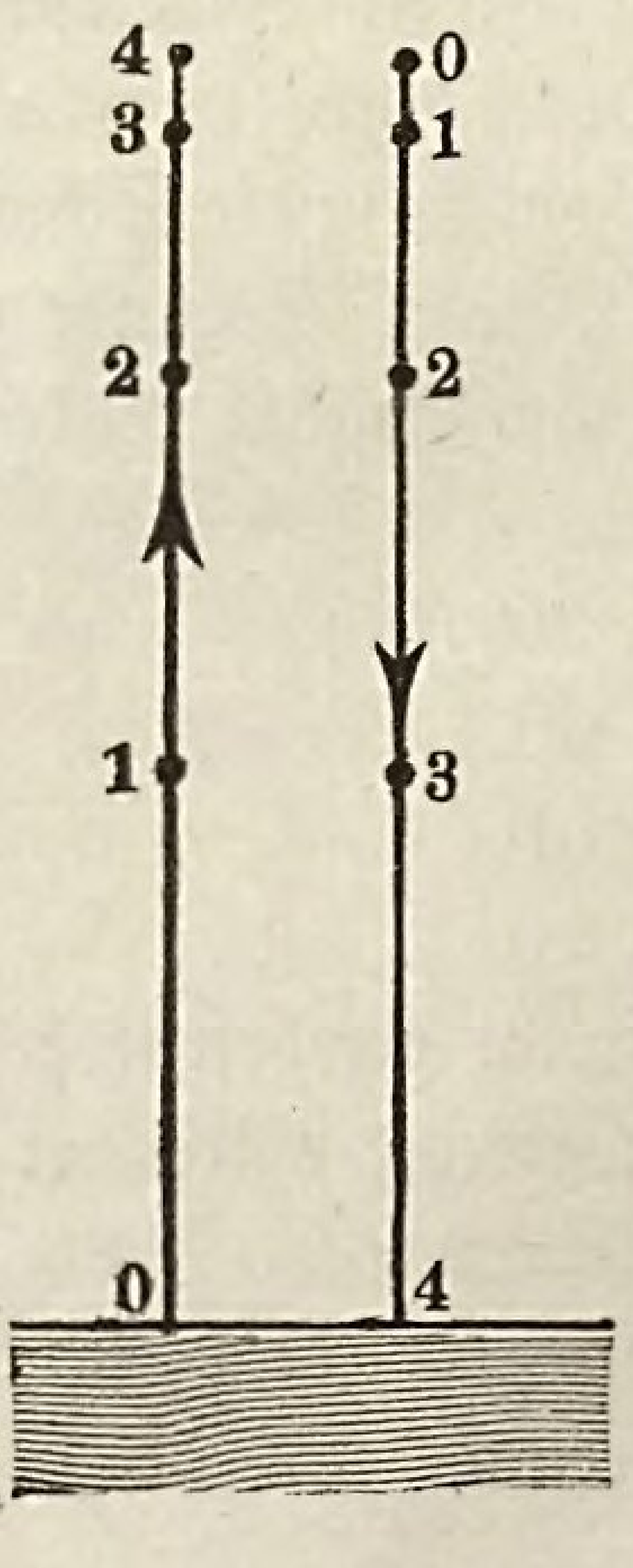
Wenn eine Kugel vier Secunden lang fällt, so erlangt sie eine Geschwindigkeit von 120 Fuß. Die Kugel fällt also mit derselben Geschwindigkeit wieder zu Boden, mit welcher sie zu steigen begonnen.

Zu demselben Resultat gelangt man auch, wenn man in gleicher Weise die Rechnungen für den Fall ausführt, daß die Anfangsgeschwindigkeit, mit welcher die Kugel senkrecht in die Höhe geworfen, 150 oder daß sie nur 90 Fuß ꝛc. beträgt.

In Fig. 30 ist in der senkrechten Linie links das Steigen einer Kugel anschaulich gemacht, welche mit einer Geschwindigkeit von 120 Fuß in der Secunde von *o* aus senkrecht in die Höhe geworfen wurde, und zwar ist die Steighöhe ungefähr in $1/_{160}$ der natürlichen Größe dargestellt.

Der Abstand von 0 bis 1 stellt also die Länge von 105 Fuß, 1 bis 2 stellt 75, 2 bis 3 stellt 45 und 3 bis 4 endlich stellt die Länge von 15 Fuß dar.

Fig. 30.

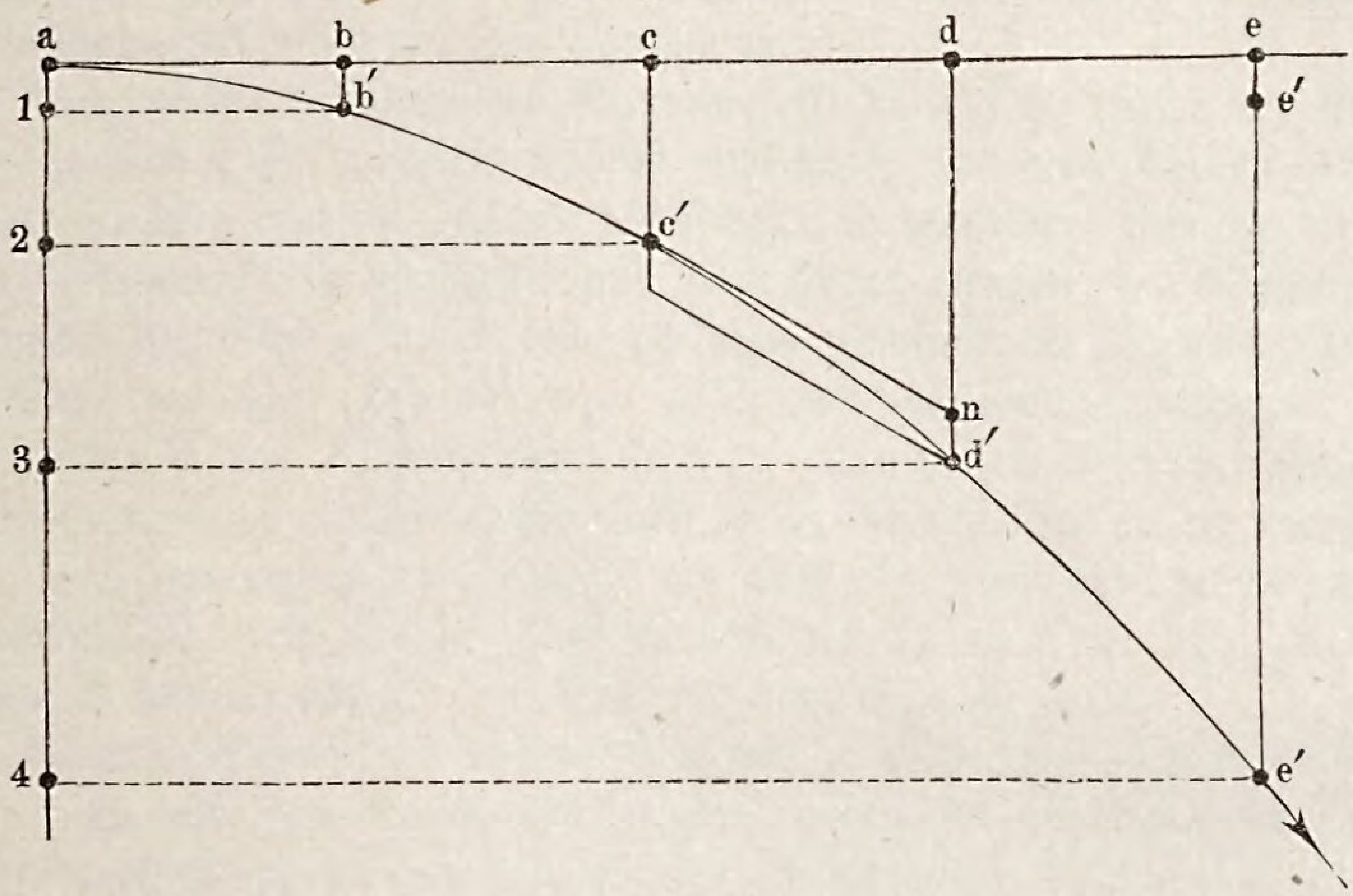


Die Linie rechts stellt die Wege dar, welche ein von 0 frei herabfallender Körper durchläuft. In der ersten Secunde durchfällt er den Weg von 0 bis 1, gleich 15 Fuß; in der zweiten fällt er von 2 bis 3, d. h. um 45 Fuß ꝛc.

Wir haben bisher nur den Fall betrachtet, daß die Richtung, in welcher sich der Körper bewegt, mit der Richtung der Schwerkraft zusammenfällt, daß also der Körper senkrecht herabfällt oder senkrecht in die Höhe geworfen wird. Wir haben jetzt den Fall zu betrachten, daß dem Körper ein Stoß ertheilt wird, dessen Richtung nicht mit der Richtung der Schwerkraft zusammenfällt. Nehmen wir zunächst den Fall, daß dem in *a* befindlichen Körper in horizontaler Richtung ein Stoß ertheilt wird, der ihm eine Geschwindigkeit von 100 Fuß in der Secunde ertheilt, so würde sich, wenn die Schwerkraft nicht auf ihn wirkte, der Körper in der angegebenen Richtung in jeder Secunde um

100 Fuß fortbewegen, er würde sich in der ersten Secunde von *a* nach *b*, in 2, 3, 4 Secunden nach *c*, *d*, *e* bewegen (Fig. 31 ist nach demselben Maaßstab gezeichnet, wie Fig. 30). Aber die Schwerkraft wirkt auf den geworfenen Körper wie

Fig. 31.



auf den frei fallenden. Er sinkt von der Höhe, die er in *a* einnahm, in 1 Secunde um 15 Fuß, in 2 Secunden um 60 Fuß, in 3 Secunden um 135 und in 4 Secunden um 240 Fuß herab. Am Ende der 1ten Secunde befindet er sich also 15′ unter *b* in *b′*; am Ende der 2ten 60′ unter *c*, also in *c′*; am Ende der 3ten Secunde befindet er sich in *d′*, welches um 145′ unter *d* liegt, am Ende der 4ten Secunde befindet er sich in *e′*, 240′ unter *e* ꝛc.

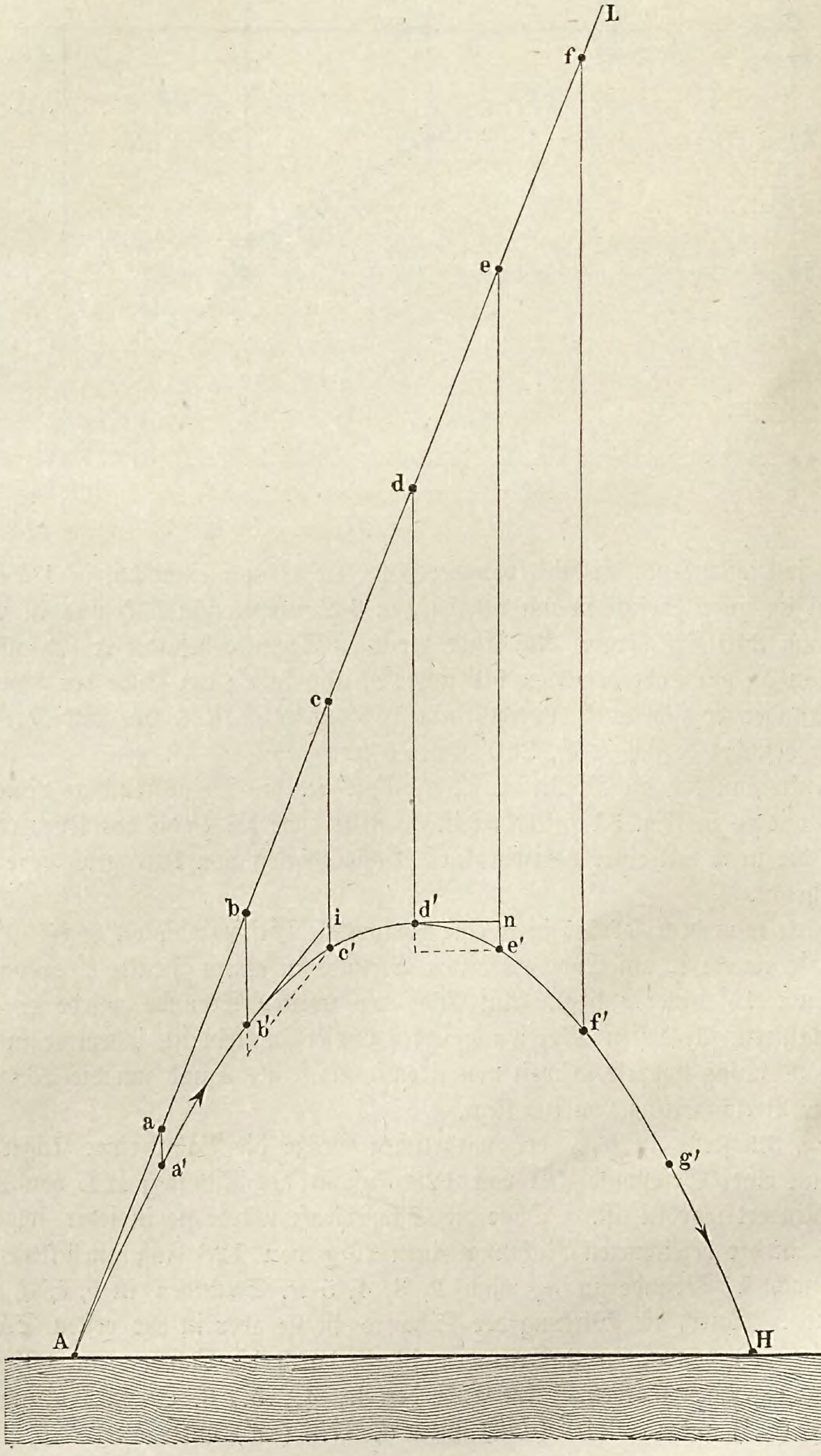
Denkt man sich die Punkte *a*, *b′*, *c′*, *d′*, *e′* ꝛc. durch eine krumme Linie verbunden, wie es in Fig. 31 geschehen ist, so stellt diese die Bahn des Körpers dar, welchen der in *a* mit einer horizontalen Geschwindigkeit von 100′ geworfene Körper beschreibt.

Hätte man dem Körper in *a* eine horizontale Geschwindigkeit von 400′ mitgetheilt, so würde er am Ende der ersten Secunde in einem Punkte *e′* ankommen, welcher um 15′ unter *e* liegt. Am Ende der zweiten Secunde würde er einen Punkt passiren, für dessen Markirung unser Papier zu klein ist, indem er in horizontaler Richtung doppelt so weit von *a* entfernt ist als *e* und um die Länge *cc′* unter der Verlängerung von *ae* liegt.

Fig. 32 stellt in $^1/_{160}$ der natürlichen Größe die Bahn einer Kugel dar, welche mit einer Geschwindigkeit von 128 Fuß in der Richtung *AL* von *A* aus fortgeschleudert worden ist. Ohne die Schwerkraft würde sie in jeder folgenden Secunde in der bezeichneten Richtung einen Weg von 128 Fuß zurücklegen; sie würde nach 1 Secunde in *a*, nach 2, 3, 4, 5 ꝛc. Secunden in *b*, *c*, *d*, *e* ꝛc. ankommen. Durch die Wirkung der Schwere ist sie aber in der ersten Secunde um 15′ (*aa′*) von *a*, in 2 Secunden ist sie durch die Schwere um 60′ (*bb′*) von *b* herabgezogen worden. Am Ende der 3., 4., 5., 6. Secunde befindet sie sich 135′ (*cc′*) unter *c*, 240′ (*dd′*) unter *d*, 375′ (*ee′*) unter *e* ꝛc.

Verbindet man die so gefundenen Punkte a, b', c', d', e' 2c. durch eine krumme Linie, so erhält man die verkleinerte Abbildung einer **Wurflinie**. Die Mathematiker nennen diese krumme Linie eine **Parabel**; d' ist der Gipfel unse-

Fig. 32.



rer Parabel. In Fig. 31 stellt a', b', c', d' die eine Hälfte einer Parabel dar, deren Gipfel a ist.

Fig. 31 und Fig. 32 stellen Wurflinien dar, wie sie sich gestalten würden, wenn kein Luftwiderstand vorhanden wäre. Bei Körpern, die mit großer Geschwindigkeit geworfen werden, wie z. B. einer Bombe, weicht aber die zurückgelegte Bahn wesentlich von der Parabel ab.

Auch bei der krummlinigen Bewegung ist die Bahn, welche der Körper in einem gegebenen Zeittheilchen wirklich zurücklegt, aus zwei Theilen zusammengesetzt, dem Weg nämlich, welchen der Körper in demselben vermöge der vorher bereits erlangten Geschwindigkeit und dem Weg, welchen der Körper in dem fraglichen Zeittheilchen unter dem alleinigen Einfluß der Schwere zurücklegt. Am Ende der 2ten Secunde wird z. B. der horizontal geworfene Körper, dessen Bahn in Fig. 31 verzeichnet ist, in c' mit solcher Geschwindigkeit ankommen, daß er, wenn nun die Schwerkraft zu wirken aufhörte, in der nächsten Secunde, nach dem Gesetz der Trägheit, den Weg $c'n$ zurücklegen würde; durch die Schwerkraft ist er aber in der 3ten Secunde um 15′ ($n\,d' = b\,b'$) herabgezogen worden, er befindet sich also am Ende der 3ten Secunde in d'.

Hörte die Schwerkraft in dem Momente zu wirken auf, in welchem die schräg in die Höhe geworfene Kugel, deren Bahn in Fig. 32 verzeichnet ist, in b' ankommt, so würde sie sich von nun an mit gleichförmiger Geschwindigkeit in einer geraden Linien fortbewegen, welche die krumme Linie $A\,a'c'$ in b' berührt (Tangente der Parabel in b') und zwar würde sie in jeder folgenden Secunde einen Weg zurücklegen, welcher gleich $b'\,i$ ist. Am Ende der dritten Secunde würde also die Kugel, vermöge der Geschwindigkeit, mit welcher sie in b' ankommt, in i anlangen, durch die Wirkung der Schwerkraft wird sie aber in dieser dritten Secunde um die Länge $i\,c'$ herabgezogen.

In d' kommt die Kugel mit einer horizontalen Geschwindigkeit $d'n$ an, welche sich dann mit dem Fallraum $n\,e'$ einer Secunde so zusammensetzt, daß die Kugel in der fünften Secunde den Weg $d'\,e'$ zurücklegt.

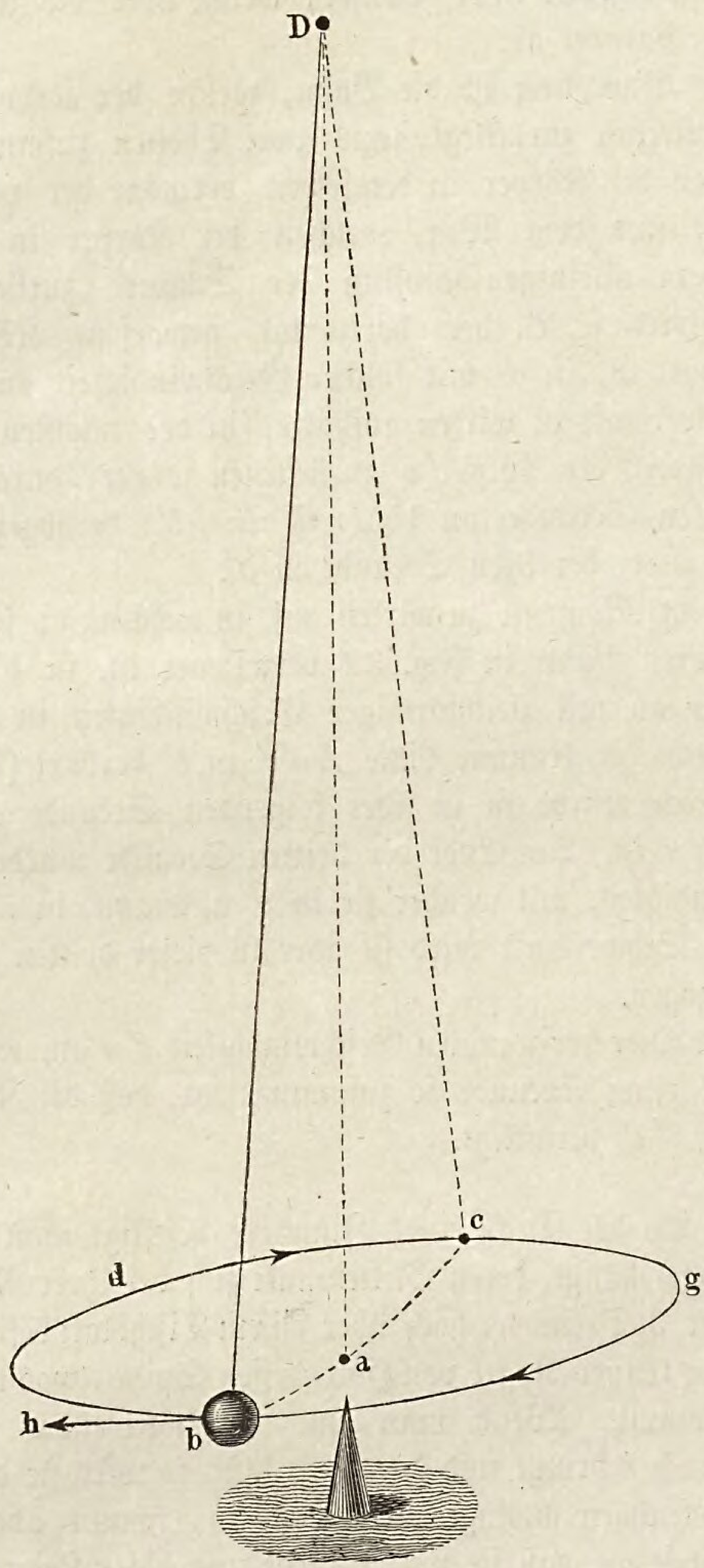
Centralbewegung. An der Decke eines Zimmers befestige man eine 29
Schnur, an welcher eine Metallkugel hängt, deren Mittelpunkt sich bei ihrer Ruhelage in a (Fig. 33 a. f. S.) ungefähr 3 Decimeter hoch über einem Tischblatt befindet. Auf dasselbe stelle man dann einen kleinen Kegel von Holz, dessen Spitze etwas unter die Mitte der Kugel zu stehen kommt. Wenn man nun die Kugel etwas nach vorn zieht, wenn man sie etwa nach b bringt und dann los läßt, so wird sie durch die Schwerkraft wieder in ihre Gleichgewichtslage zurückgetrieben, kommt aber in derselben mit solcher Geschwindigkeit an, daß sie weiter fliegt und bis c steigt und nun fortwährend zwischen c und b hin und her schwingt.

Aehnliches hätte man beobachtet, wenn man die Kugel nach d, nach g rc. gebracht hätte. In allen diesen Punkten ist eine Kraft thätig, welche die Kugel, wenn sie losgelassen wird, nach dem Mittelpunkte (Centralpunkte) a hintreibt.

Wenn nun die Kugel in der erwähnten Weise zwischen b und c hin und her schwingt, so gebe man ihr, wenn sie eben einmal wieder von c her in b ankommt, mit der Hand einen Stoß in der Richtung des Pfeiles $b\,h$, so wird die Kugel

von nun an (wenn der Stoß mit geeigneter, durch einige Uebung leicht zu treffenden Stärke geführt worden ist) um den Punkt *a* kreisen und diese Bewegung längere Zeit hindurch fortsetzen.

Fig. 33.



Hier haben wir nun den Fall, daß ein Körper, welcher auf allen Punkten seiner Bahn gegen den Centralpunkt *a* hingetrieben wird, doch nicht demselben zufällt, sondern um denselben herumläuft.

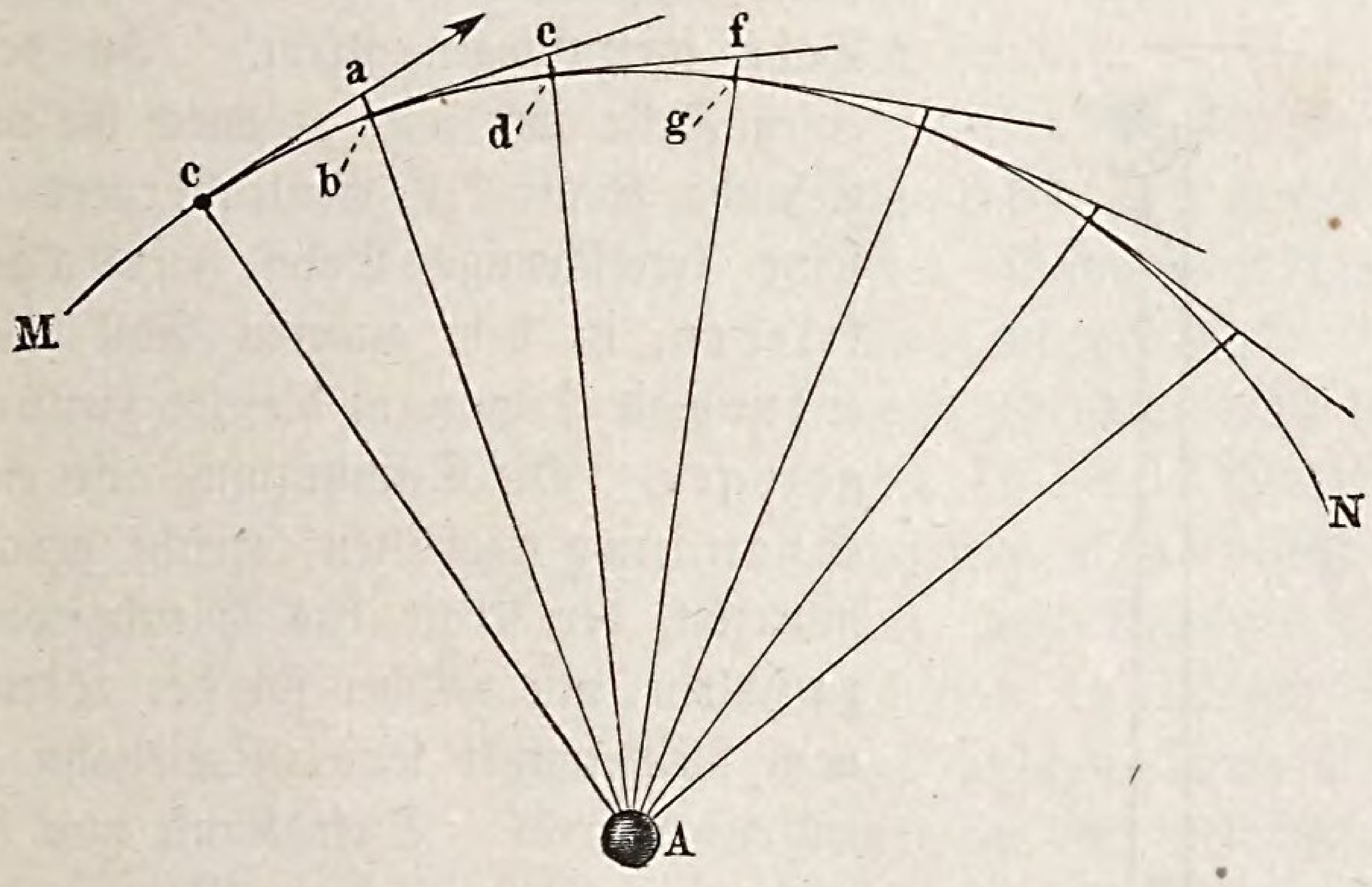
Kurz, wir haben, wenn sich auch manche Umstände bei dieser Bewegung anders gestalten, etwas Aehnliches, wie bei der Bewegung des Mondes um die Erde, der Erde und der übrigen Planeten um die Sonne, nämlich einen Körper, welcher seinen Anziehungsmittelpunkt beständig umkreist, und somit giebt uns dieser Versuch Antwort auf die im §. 24 gestellte Frage.

Die Bahn, welche die in *b* angestoßene Kugel um ihren Centralpunkt *a* beschreibt, hängt von dem Verhältniß des seitlichen Stoßes zur Stärke der Centralkraft (Stärke der Kraft, welche den Körper nach *a* treibt) ab.. Unter günstigen Umständen ist diese Bahn nahezu kreisförmig, wo nicht, so gestaltet sie sich mehr zu einer länglichen (elliptischen) Linie.

Nach und nach wird die Bahn, Fig. 33, der Kugel immer kleiner, bis sie endlich, vielleicht nach stundenlanger Bewegung in *a* zur Ruhe kommt. Dieses Kleinerwerden der Bahn und das endliche Stillstehen der Kugel ist aber lediglich eine Folge der Widerstände, welche sie bei ihrer Bewegung zu überwinden hat, nämlich des Luftwiderstandes und des Reibungswiderstandes am Aufhängepunkt der Schnur; ohne diese Widerstände würde diese Bewegung ewig fortdauern, wie dies ja auch bei den Himmelskörpern stattfindet.

Sehen wir nun zu, in welcher Weise die Centralbewegung vor sich geht. In Fig. 34 stelle z. B. *MN* ein Stück der Bahn vor, welche etwa ein Planet um seinen Centralkörper *A* beschreibt. In *c* kommt der Planet mit einer solchen Geschwindigkeit an, daß er sich vermöge derselben in der Richtung des kleinen Pfeils in der Zeiteinheit um die Länge *ca* fortbewegen würde. Nun aber wird er durch die von *A* ausgeübte anziehende Kraft in der Zeiteinheit um die Länge *ab* gegen *A* hingetrieben, er kommt also am Ende der ersten Zeiteinheit in *b* an; von hier würde er sich, vermöge seines Beharrungsvermögens, abermals in der Richtung der Tangente fortbewegen und in der zweiten Zeiteinheit nach *e* gelangen; durch die anziehende Kraft von *A* wird er aber in diesem Zeittheilchen abermals dem Centralkörper um *ed* genähert ꝛc. Durch den Einfluß seines Beharrungsvermögens strebt also der Planet, sich in jedem Punkte seiner Bahn in der Richtung der Tangente geradlinig fortzubewegen, durch die Centralkraft wird er aber stetig von dieser geradlinigen Richtung abgelenkt und auf die krummlinige Bahn zurückgeführt. Die beschleunigende Kraft, welche der Centralkörper auf den Planeten ausübt, bewirkt also im Wesentlichen nur eine stetige Richtungsänderung der ihm ursprünglich mitgetheilten Geschwindigkeit.

Fig. 34.



Die Fliehkraft. Wenn man irgend einen schweren Körper an dem 30
einen Ende einer Schnur befestigt und ihn, das andere Ende in der Hand haltend, im Kreise herumschwingt, wie Fig. 35 (a. f. S.) andeutet, so wird die Schnur fortwährend eine Spannung auszuhalten haben, welche mit der Schnelligkeit der Umdrehung wächst. Wenn in irgend einem Momente die Schnur risse, so würde der bis dahin im Kreise herumgeschwungene Körper sich nicht ferner im Kreise fortbewegen, sondern er würde in tangentialer Richtung fortfliegen, wie sich am besten mit der Schleuder, Fig. 36 (a. f. S.), zeigen läßt, indem der Stein wirklich in der bezeichneten Weise fortfliegt, wenn die Hand während des raschen Umschwungs des Steines das eine Schnurende plötzlich losläßt.

Bei einem rasch umgedrehten Schleifsteine fahren die Wassertropfen in tangentialer Richtung weg, sobald die Kraft, mit welcher das Wasser am Steine anhaftet, nicht mehr hinreicht, um sie zu verhindern, fortzufliegen.

Vergleichen wir nun die Centralbewegung eines Körpers, wie wir sie im vorigen Paragraphen kennen lernten, mit der kreisförmigen Bewegung eines

Körpers, welcher um einen festen Mittelpunkt herumgeschleudert wird, so finden wir, daß er in beiden Fällen in jedem Punkt seiner Bahn, vermöge seines Beharrungsvermögens, in gerader Linie tangential zu seiner bisherigen Bahn fortzufliegen strebt. In dem einen Falle aber wird er durch die anziehende Kraft des Centralkörpers in seine kreisförmige Bahn zurückgetrieben, in dem anderen Fall wird er durch die Schnur in dieselbe zurückgezogen. Die Schnur muß also eine Spannung aushalten, welche gerade hinreicht, der Kraft das Gleichgewicht zu halten, mit welcher sich der Körper vom Mittelpunkt seiner Kreisbahn zu entfernen strebt. Diese Kraft nun bezeichnet man mit dem Namen der Schwungkraft, der Flieh- oder Centrifugalkraft.

Fig. 35.

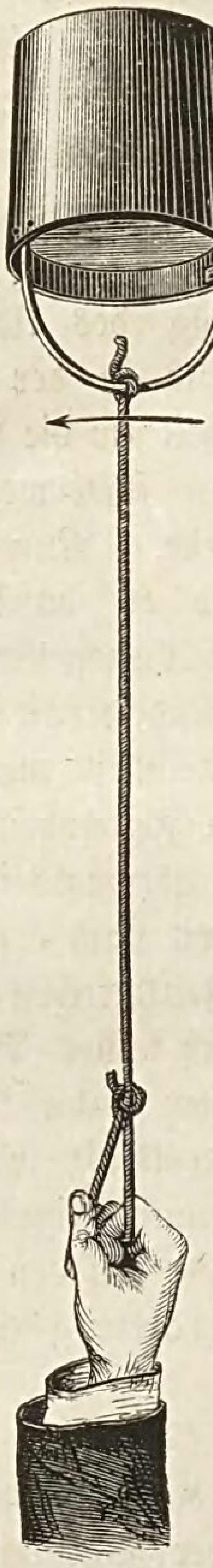
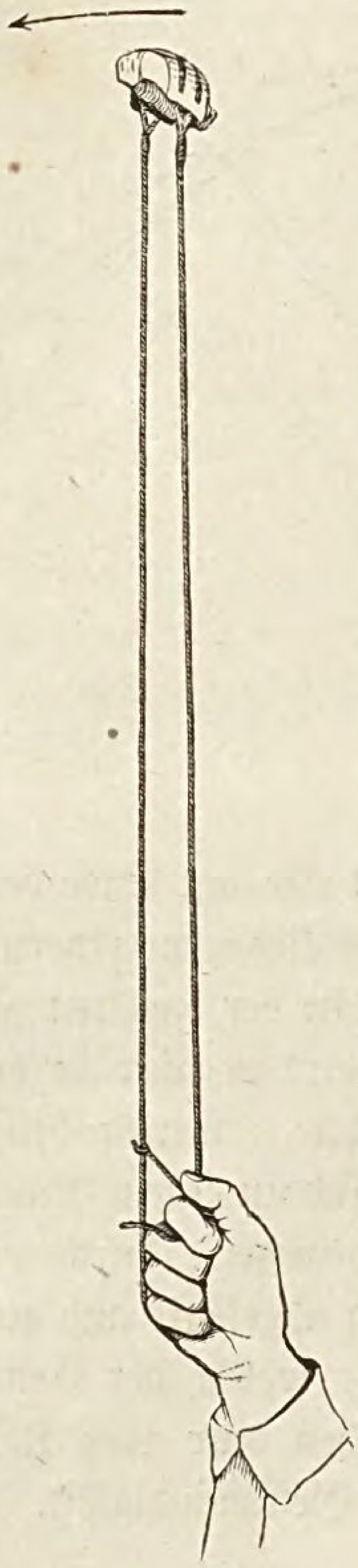


Fig. 36.



Die Schwungkraft eines im Kreise herumgeschleuderten Körpers wächst mit seiner Masse und mit dem Halbmesser seiner Bahn. Unter sonst gleichen Umständen wird die Schwungkraft eines Körpers um so größer, je kürzer seine Umlaufszeit ist.

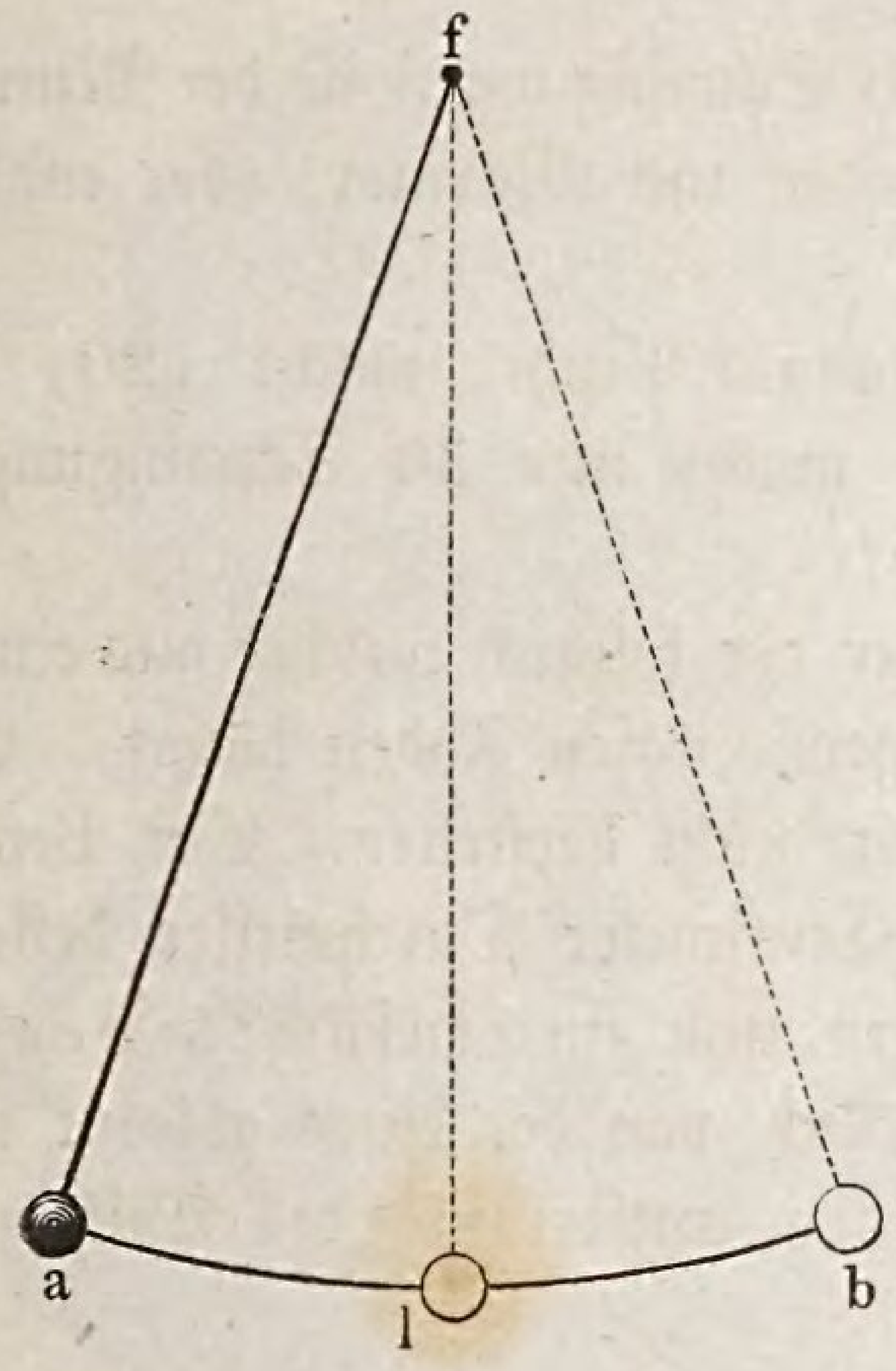
Ueberall, wo ein fester Körper um eine feste Axe rotirt, wirkt die Schwungkraft auf jedes Stück desselben, jedes Stück strebt, sich mit einer entsprechenden Kraft von der Umdrehungsaxe zu entfernen und zwar ist die Schwungkraft am größten für die am weitesten von der Axe entfernten Theile. Die Fliehkraft wirkt auf jeden Theil eines um seine Axe laufenden Schwungrades, eines Schleifsteines ꝛc.

31 **Pendel.** Eine schwere Kugel, welche an einem biegsamen Faden hängt, wie z. B. die Kugel in Fig. 34, Seite 50, wird ein einfaches Pendel genannt. Bringt man die Kugel aus ihrer Gleichgewichtslage heraus, etwa nach *b*, läßt man sie dann los, ohne ihr einen seitlichen Stoß zu geben, so wird sie nun, wie wir bereits gesehen haben, zwischen *b* und *c* hin und her schwingen und diese Pendelbewegung wollen wir nun etwas näher betrachten.

In Fig. 33 ist die Bahn *bac*, in welcher das Pendel hin und her schwingt, perspectivisch verkürzt gezeichnet, was bei den folgenden Betrachtungen leicht Verwirrung bewirken könnte; in Fig. 37 ist deshalb ein in *f* aufgehängtes

Pendel mit unverkürzter Schwingungsbahn *alb* dargestellt. Die Gleichgewichtslage der Pendelkugel befindet sich in *l*; wird sie in die Lage *a* gebracht und dann losgelassen, so schwingt sie zwischen den Endpunkten *a* und *b* in der erwähnten Weise hin und her.

Fig. 37.



Der Winkel *afl*, welchen die Pendelschnur bei ihrer größten Ausweichung *af* mit ihrer Gleichgewichtslage *lf* macht, wird der Ausschlagswinkel oder auch nur der Ausschlag genannt. Er darf nicht zu groß (nicht über 10 bis 12 Grad) sein, wenn die sogleich anzuführenden Gesetze Geltung haben sollen.

Die Bewegung der Pendelkugel geht ungefähr so vor sich, als ob die Pendelkugel zur schiefen Ebene *al* herabrollte, um dann, vermöge der erlangten Geschwindigkeit, auf der anderen Seite auf der schiefen Ebene *lb* hinaufzusteigen; *al* ist aber keineswegs eine gerade Linie, sondern ein Kreisbogen, dessen Neigung gegen die Wagerechte um so mehr abnimmt, je mehr man sich der Gleichgewichtslage *l* nähert.

Die Schwingungsdauer desselben Pendels ist nun 1) unabhängig von der Größe des Ausschlags, d. h. sie ist dieselbe, mag nun der Ausschlag 10 bis 12 Grad oder nur 5 bis 6 oder endlich auch nur 2 bis 3 Grad betragen.

2) Bei gleicher Pendellänge ist die Schwingungsdauer dieselbe, mag nun die Kugel aus Blei oder aus Eisen, aus Marmor oder aus Holz bestehen. Eine Kugel von Blei ist ungefähr 18 mal schwerer als eine gleich große Kugel von Buchenholz; die Bleikugel wird also durch eine 18 mal größere Kraft ihrer Gleichgewichtslage zugetrieben als die Holzkugel, und doch schwingt das Bleipendel nicht schneller als das Holzpendel, weil die 18 mal größere Schwerkraft der Bleikugel auch eine 18 mal größere Masse in Bewegung zu setzen hat.

3) Die Schwingungsdauer eines einfachen Pendels hängt von seiner Länge ab.

Die Schwingungsdauer eines einfachen Pendels von 994 Millimeter Länge beträgt gerade 1 Secunde oder mit anderen Worten: die Länge des Secundenpendels beträgt 994 Millimeter. Man muß das Pendel 4 mal kürzer, also $248\frac{1}{2}$ Millimeter lang machen, wenn es halbe Secunden schlagen soll, dagegen muß man es 4 mal ($4 = 2 . 2$) oder 9 mal ($9 = 3 . 3$) so lang machen als das Secundenpendel, wenn seine Schwingungsdauer 2 oder 3 Secunden betragen soll.

Dies Verhältniß läßt sich leicht erklären. Wir haben oben, S. 44, gesehen, daß eine Kugel auf einer schiefen Ebene in zwei Secunden 4 mal so weit rollt als in einer. So muß denn auch bei gleicher Neigung der Bahn der Weg der Pendelkugel 4 mal länger sein, um in der zweifachen Zeit durchlaufen zu werden; um

die doppelte Schwingungsdauer zu erzielen, muß man das Pendel 4 mal länger machen.

Das Gesagte läßt sich leicht durch den Versuch prüfen. Ein 994 Millimeter (fast 1 Meter) langes Pendel macht 60 Schwingungen in der Minute, mag nun sein Ausschlag 12 oder nur 6 Grad betragen.

Ein 994 Millimeter langes Pendel macht 60 Schwingungen in der Minute, mag seine Kugel nun aus Blei, oder aus Eisen, oder aus Marmor, oder endlich aus Holz bestehen.

Ein 248½ Millimeter (fast ¼ Meter) langes Pendel macht 120, ein 3976 Millimeter (nahe 4 Meter) langes Pendel macht nur 30 Schwingungen in der Minute.

Ein einfaches Pendel ist, streng genommen, nur ein solches, welches aus einem einzigen schweren Punkte besteht, der an einem gewichtlosen Faden hängt. Ein solches Pendel läßt sich freilich in der Wirklichkeit nicht herstellen. Ein Pendel aber, welches aus einer Metallkugel von 1 bis 2 Centimeter Durchmesser besteht, welche an einem möglichst dünnen Faden hängt, wird auch ein einfaches Pendel genannt, weil seine Schwingungsdauer nicht merklich von der eines absolut einfachen Pendels abweicht, dessen Länge gleich ist der Entfernung des Aufhängepunktes von dem Mittelpunkt der Kugel.

Tritt an die Stelle des fast gewichtlosen Fadens ein massiver, mehr oder weniger schwerer Stab, an die Stelle der Kugel eine größere, irgend wie, etwa linsenförmig gestaltete Masse, wie Fig 38 eine solche zeigt, so hat man ein zusammengesetztes oder materielles Pendel.

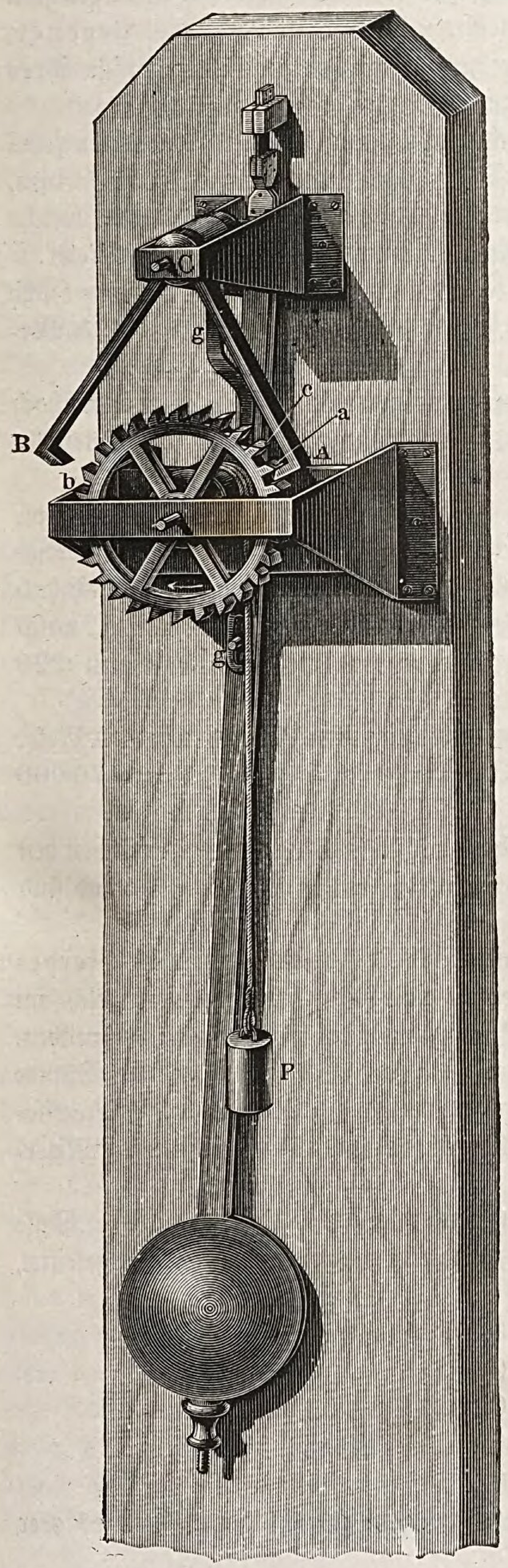
Für die Physik ist das Pendel ein Apparat von der höchsten Wichtigkeit, welcher die Entdeckung schon mancher Wahrheit vermittelt hat. Aber auch für das praktische Leben ist das Pendel von hoher Bedeutung, namentlich durch seine Anwendung zur Regulirung der Wanduhren. In jeder Uhr muß eine beschleunigende Kraft wirken, um die Bewegung überhaupt hervorzubringen. Bei unseren Wanduhren wird die beschleunigende Kraft durch ein Gewicht hervorgebracht, welches an einer Schnur hängt, die um eine horizontale, um ihre Axe drehbare Walze geschlungen ist. Wenn nun das fragliche Gewicht *P*, Fig. 38, diese Walze frei umdrehen könnte, so würde es in Zeit weniger Secunden vollständig herabsinken und der Walze eine anfangs langsame, dann aber immer rascher und rascher werdende Umdrehung mittheilen, während in der That die Uhr Tage, ja Wochen lang mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortgehen soll. Dies wird nun durch die sogenannte Hemmung oder das Echappement bewirkt, durch welche die Umdrehung der Walze in regelmäßigen, durch die Schwingungen eines Pendels geregelten kleinen Zeiträumen aufgehalten wird.

An der Walze, um welche die das Gewicht tragende Schnur geschlungen ist, ist ein gezahntes Rad, das Steigrad, befestigt. Ueber diesem Rade befindet sich nun ein Anker *A C B*, welcher je nach seiner Stellung bald auf der einen, bald auf der anderen Seite in die Zähne des Rades eingreift. Dieser Anker wird durch Schwingungen des Pendels hin- und hergeführt.

Die Figur stellt das Pendel gerade in der Lage dar, wo es seine äußerste Stellung links hat. Das Rad, welches durch das Gewicht von der Linken zur

Rechten gedreht wird, kann aber nicht vorangehen, weil der Zahn a durch den Arm A des Ankers aufgehalten wird; sobald aber das Pendel zurückgeht, geht A auf die Seite, der Zahn a wird nun vorbeigelassen; die Bewegung des Rades wird aber doch alsbald wieder gehemmt, weil nun auf der anderen Seite der Arm B des Ankers niedergeht und an diesem dann der Zahn b des Rades anstößt.

Fig. 38.



Geht nun das Pendel abermals nach der Linken, so wird der Zahn c durch A angehalten. Bei jedem Hin- und Hergange geht also das Rad um einen Zahn, bei jedem Pendelschlage also um eine halbe Zahnweite voran. Hat also das Rad 30 Zähne, so wird ein Zeiger, welcher an der Axe desselben befestigt ist, in 60 Sprüngen den ganzen Kreis durchlaufen.

Die Axe des Ankers bildet nun nicht unmittelbar die Schwingungsaxe des Pendels. Dieses würde, in Zapfen sich bewegend, zu viel Reibung zu überwinden haben. Das Pendel ist vielmehr hinter dem Anker mittelst eines an dem Träger desselben eingeklemmten Stückchens einer Uhrfeder aufgehängt. An dem Anker aber ist eine Gabel g befestigt, die mittelst eines Stiftes durch das Pendel geführt wird, wie die Figur zeigt.

Die nähere Betrachtung einer gewöhnlichen Schwarzwälder Pendeluhr mag erläutern, was die Figur etwa noch unklar gelassen hat, nur muß noch bemerkt werden, daß in solchen Uhren der auf der Axe des Steigrades befestigte Secundenzeiger in der Regel ganz fehlt, daß aber die Umdrehung dieser Axe durch entsprechende Räderwerke noch auf die Axe des Minuten- und des Secundenzeigers übertragen wird.

32 **Mechanische Arbeit.** Wenn irgend eine beschleunigende (bewegende) Kraft auf einen Körper wirkend, denselben eine bestimmte Strecke weit fortbewegt, so verrichtet sie eine mechanische Arbeit, welche einerseits von der Größe der angewendeten Kraft, andererseits aber von der Länge des zurückgelegten Weges abhängt. Das Maaß der geleisteten Arbeit ist also das Product, welches man erhält, wenn man die Größe der wirkenden Kraft (die Größe ihres Zuges oder Druckes) mit der Länge des zurückgelegten Weges multiplicirt.

Nehmen wir, wie es jetzt gewöhnlich geschieht, das Meter zur Längeneinheit, für die Einheit der Kraft (Druck oder Zug) aber das Kilogramm, so ist die Einheit der Arbeit das Meterkilogramm, d. h. die Arbeit, welche gleich ist der Hebung einer Last von 1 Kilogramm auf die Höhe von 1 Meter.

Wenn also ein Lastträger einen 25 Kilogramm schweren Sack auf eine Höhe von 17 Meter hinaufträgt, so hat er eine Arbeit von 17×25, also von 425 Meterkilogramm verrichtet.

Wenn bei einem Bau ein 372 Kilogramm schwerer Stein 25 Meter hoch gehoben werden soll, so ist die zu leistende Arbeit $25 \times 372 = 9300$ Meterkilogramm.

Um einen mit 1 Klafter Buchenholz beladenen Wagen auf guter wagerechter Chaussee fortzuziehen, müssen die Pferde eine Zugkraft von 220 Kilogramm ausüben, d. h. der Zug, welchen der Deichselnagel in wagerechter Richtung auszuhalten hat, ist gerade eben so groß, wie der Zug, den er aushalten würde, wenn er in dem Gebälke einer Scheuer befestigt wäre und man eine Last von 220 Kilogramm an demselben aufgehängt hätte.

Wird nun der Wagen unter Anwendung der bezeichneten Zugkraft um 800 Meter weit fortgezogen, so wird dadurch eine Arbeit von $220 \times 800 = 176\,000$ Meterkilogrammen geleistet.

Wendet man als Einheit des Gewichtes das Pfund, als Längeneinheit den Fuß an, so ist die Arbeitseinheit das Fußpfund. Ungefähr $6\frac{1}{2}$ Fußpfund sind gleich 1 Meterkilogramm.

Die Leistungsfähigkeit von Kraftmaschinen (Motoren) wird oft in Pferdekräften ausgedrückt und dabei als Pferdekraft eine solche angenommen, welche im Stande ist, eine Arbeit von 75 Meterkilogrammen in 1 Secunde auszuüben. Eine Dampfmaschine von acht Pferdekräften ist also eine solche, welche im Stande ist, in jeder Secunde eine mechanische Arbeit von $8 \times 75 = 600$ Meterkilogrammen oder in jeder Minute eine solche von $60 \times 600 = 36\,000$ Meterkilogrammen auszuführen.

Die gleiche mechanische Arbeit kann nun aber auf sehr verschiedene Weise ausgeführt werden; die Arbeit von 1000 Meterkilogrammen wird z. B. geleistet, wenn man

100	Kilogramm	10	Meter	hoch,	oder
50	„	20	„	„	„
20	„	50	„	„	„
10	„	100	„	„	„
1	„	1000	„	„	hebt.

Je nach der Natur der Kraft, über welche man zu verfügen hat, ist es aber

keineswegs gleichgültig, auf welche Art die fragliche Arbeit ausgeführt wird. Soll z. B. die oben bezeichnete Arbeit von 1000 Meterkilogrammen durch Manneskraft ausgeführt werden, so ist klar, daß ein Arbeiter überhaupt unfähig ist, eine Last von 100 Kilogrammen direct zu heben, während er ohne Schwierigkeit eine Last von 10 Kilogrammen 100 Meter hoch heben kann. Um die 100 Kilogramm auf eine Höhe von 10 Meter hinaufzuschaffen, brauchte man also nur die Last von 100 Kilogrammen in 10 gleiche Theile zu theilen und dann eine Abtheilung nach der anderen 10 Meter hoch hinaufzuschaffen, was offenbar dieselbe Arbeit erfordert, als ob man eine Last von 10 Kilogrammen 100 Meter hoch hebt.

In dieser Art läßt sich die Sache ausführen, wenn die zu hebende Last theilbar ist, wenn es sich z. B. darum handelt, 100 Kilogramm Kartoffeln auf eine Höhe von 10 Meter hinaufzuschaffen. In vielen Fällen ist aber eine solche Theilung der Last nicht zulässig, wie z. B., wenn es sich darum handelt, bei einem Bau einen Balken, einen gehauenen Stein &c. in die Höhe zu fördern. In solchen Fällen nun kommen die sogenannten mechanischen Potenzen in Anwendung, deren Betrachtung wir mit dem Flaschenzug beginnen wollen.

Der Flaschenzug. Mit dem Namen der Rolle bezeichnet man eine 33
am Rande mit einer kreisförmigen Rinne versehene Scheibe, welche um eine durch ihren Mittelpunkt gehende, auf ihrer Ebene rechtwinklig stehende Axe drehbar ist. Diese Axe ist gewöhnlich durch eine Scheere getragen, deren Arme zu beiden Seiten der Rolle bis etwas über ihre Mitte reichen, wie man dies in Fig. 39 sieht.

Man unterscheidet feste und bewegliche Rollen. Feste Rollen sind solche, deren Umdrehungsaxe unverschiebbar ist, wie die Axe der Rolle *A*, während bei den beweglichen Rollen, wie bei *B*, Fig. 39 (a. f. S.), auch eine Ortsveränderung der Axe möglich ist.

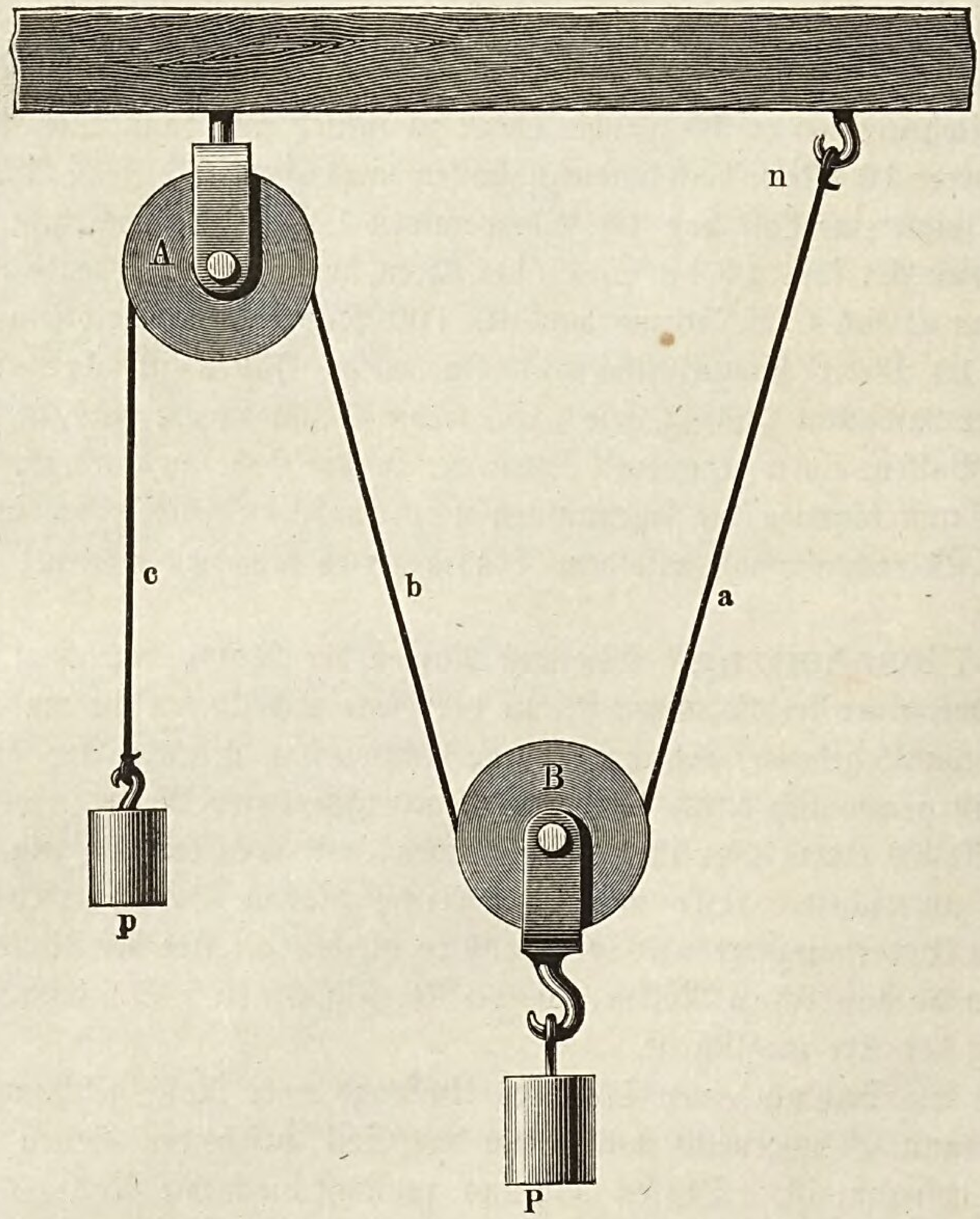
Wenn ein Seil um einen Theil des Umfangs einer Rolle geschlungen ist, so findet nur dann Gleichgewicht statt, wenn das Seil auf beiden Seiten der Rolle gleich stark gespannt ist. Denken wir uns zunächst noch die Rolle *B* ganz weg und ein Gewicht von 10 Kilogrammen an dem Seil *c*, Fig. 39, angehängt, so müßte für den Fall des Gleichgewichts auch das Seil *b* mit einer Kraft von 10 Kilogramm gespannt sein, und um die bei *p* aufgehängte Last von 10 Kilogrammen wirklich zu heben, bedarf es dann außer einer an dem Seilstück *b* ziehenden Kraft von 10 Kilogrammen noch eines kleinen Uebergewichtes, um die Trägheit von *p* sowohl wie auch die Reibung in der Rolle zu überwinden.

Um also mittelst einer festen Rolle *A*, Fig. 39, eine Last *p* zu heben, muß man an dem Seile *b* mit einer mindestens der Last *p* gleichen Kraft ziehen.

Anders gestaltet sich die Sache, wenn man eine feste Rolle mit einer beweglichen in der Weise verbindet, wie Fig. 39 zeigt. Das eine Ende des Seiles, welches um beide Rollen geschlungen ist, ist bei *n* befestigt, während am anderen Ende das Gewicht *p* hängt. Wenn nun das Gewicht *P*, welches an die bewegliche Rolle *B* gehängt ist, 20 Kilogramm beträgt, so ist offenbar jedes der Seilstücke *a* und *b* durch eine Kraft von 10 Kilogrammen gespannt (wenn man davon absieht, daß die Seilstücke *a* und *b* nicht ganz parallel sind); wenn aber das Seilstück *b* durch 10 Kilogramm gespannt ist, so muß das Gleiche auch für

das Seilstück *c* der Fall sein, um also den an *B* angehängten 20 Kilogrammen das Gleichgewicht zu halten, brauchen an das Seilende *c* nur 10 Kilogramm an-

Fig. 39.



gehängt zu sein, und wenn man die an *c* angehängten 10 Kilogramm niederzieht, werden die an *B* angehängten 20 Kilogramm gehoben.

Wenn sich aber das Gewicht *p* um 2 Meter hinabbewegt, so werden dadurch die beiden Seilstücke *b* und *a* zusammen um 2 Meter, jedes der Seilstücke *a* und *b* also um 1 Meter verkürzt, mithin die Last *P* nur um 1 Meter gehoben.

Man kann also mit der Vorrichtung, Fig. 39, zwar mit einer bestimmten Kraft *p* der doppelten Last *P* das Gleichgewicht halten; für den Fall der Bewegung aber hat auch die Kraft *p* einen doppelt so großen Weg zurückzulegen als der ist, um welchen die Last *P* gehoben wird.

In der eben betrachteten Form ist die Verbindung mehrerer Rollen zum Heben von Lasten ziemlich unbequem; zweckmäßiger ist es dagegen, wenn zwei oder mehrere Rollen in einer gemeinschaftlichen Scheere zu einer sogenannten Flasche vereinigt und dann eine feste Flasche mit einer gleichen beweglichen zu einem Flaschenzug vereinigt werden, wie dies Fig. 40 und Fig. 41 erläutert. Das Seil, welches die beiden Flaschen verbindet, ist abwechselnd um eine Rolle

der unteren beweglichen und dann wieder um eine Rolle der oberen festen Flasche geschlungen.

Bei dem in Fig. 40 (a. f. S.) dargestellten Flaschenzug vertheilt sich die an die bewegliche Flasche angehängte Last Q auf vier Seilstücke, jedes ist also durch eine Kraft $1/4\ Q$ gespannt; um also der Last Q das Gleichgewicht zu halten, muß man bei a (abgesehen vom Gewicht der beweglichen Flasche) eine Kraft von $1/4\ Q$ anbringen.

Wäre also $Q = 100$ Pfund, so müßte man bei a mit einer Kraft von 25 Pfund ziehen, um das Gleichgewicht herzustellen.

Man müßte aber mit der bei a angreifenden Kraft einen Weg von 1 Meter zurücklegen, wenn die Last Q nur um $1/4$ Meter gehoben werden soll. Was man also auf der einen Seite an Kraft gewinnt, geht auf der anderen Seite an Geschwindigkeit verloren. Die mechanische Arbeit also, welche mittelst des Flaschenzuges geleistet wird, ist durchaus nicht größer als die mechanische Arbeit, welche die bei a angreifende Kraft direct zu leisten im Stande ist; im Gegentheil geht ein Theil der angewandten Kraft noch durch Reibungswiderstände, das Gewicht der beweglichen Flasche ꝛc. verloren.

Der Flaschenzug, Fig. 41 (a. f. S.), besteht aus drei festen und drei beweglichen Rollen, die angehängte Last Q vertheilt sich also auf 6 Seilstücke; um ihr das Gleichgewicht zu halten, muß das freie Seilende mit einer Kraft gespannt werden, welche gleich $1/6\ Q$ ist.

Was hier am Flaschenzug erläutert wurde, gilt eben so von den anderen mechanischen Potenzen, dem Hebel, dem Haspel, den verschiedenen Räderwerken, der schiefen Ebene, der Schraube ꝛc. Sie sind durchaus keine Kraftquellen, wie man wohl hier und da irrthümlicher Weise glaubt, d. h. sie dienen durchaus nicht dazu, die mechanische Arbeit zu vergrößern, welche die angewendete arbeitende Kraft unmittelbar hervorzubringen im Stande ist, sondern sie dienen nur zur Verwandlung, (Uebersetzung) der unmittelbar geleisteten Arbeit in eine andere gleichwerthige von größerer Kraft und geringerer Geschwindigkeit.

Nachdem wir nun das Grundgesetz der Wirkungsweise mechanischer Potenzen am Flaschenzug kennen gelernt haben, können wir uns in Folgendem kürzer fassen.

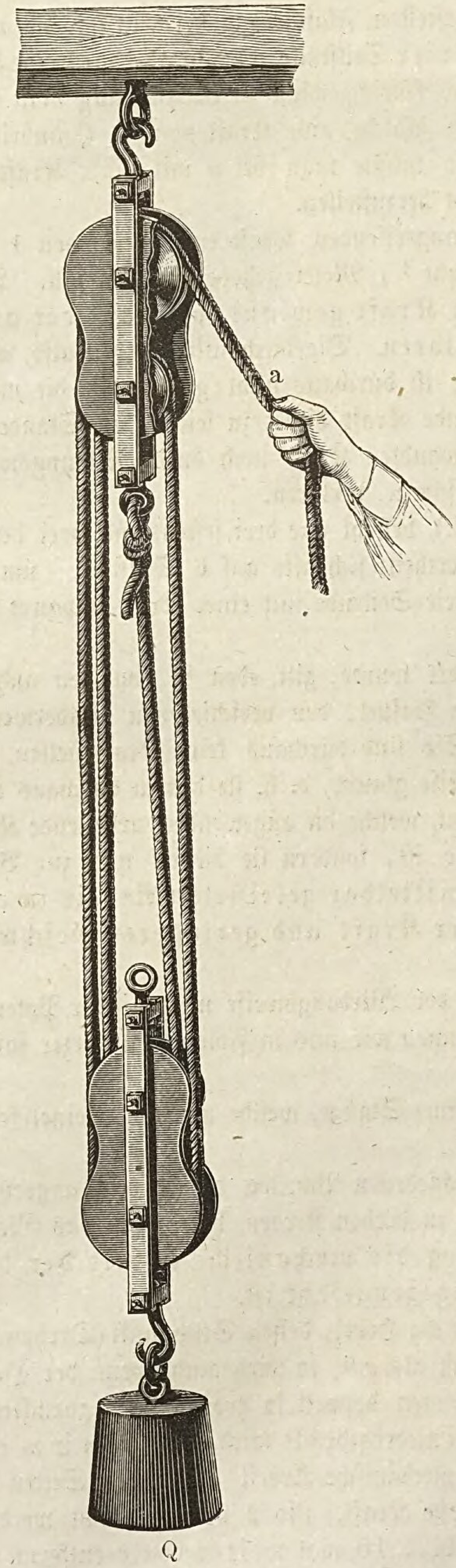
Der Hebel ist eine feste unbiegsame Stange, welche um irgend einen festen 34
Punkt drehbar ist.

Zwei Kräfte nun, welche in verschiedenen Punkten des Hebels angreifend denselben nach entgegengesetzter Richtung zu drehen streben, halten sich das Gleichgewicht, wenn für den Fall der Bewegung die mechanische Arbeit der beiden Kräfte einander gleich und entgegengesetzt ist.

In Fig. 42 (a. S. 61) z. B. sei mn ein Hebel, dessen Stützpunkt (Drehpunkt) in c liegt. Ist nun cm doppelt so groß als cn, so wird auch, wenn der Hebel etwas um c gedreht wird, der Punkt m einen doppelt so großen Weg zurücklegen als n und zwar wird n gehoben, wenn m niedergedrückt wird. Ist nun in m eine Kraft p angebracht, so muß, wenn die mechanische Arbeit auf beiden Seiten die gleiche sein soll, in n eine doppelt so große Kraft, also $2\ p$, angebracht werden.

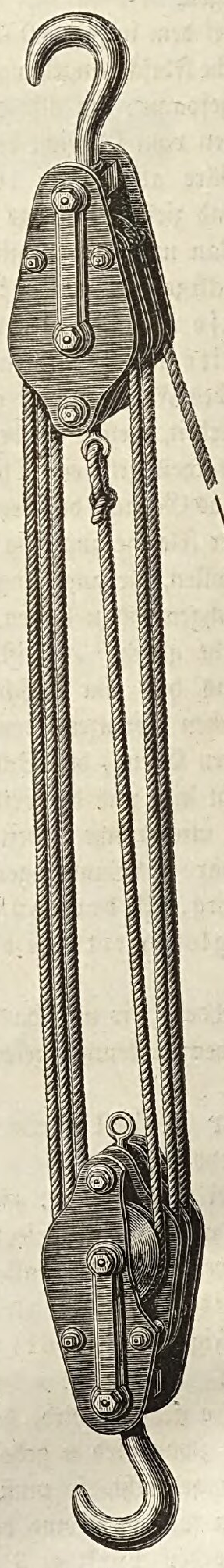
Wäre der Punkt m 3 mal, 4 mal.... 10 mal weiter von c entfernt als

Fig. 40.



Q

Fig. 41.



n, so müßte in m auch eine 3 mal, 4 mal.... 10 mal kleinere Kraft angebracht werden als in n, wenn Gleichgewicht stattfinden soll. Kurz, die anzuwen-

Fig. 42.

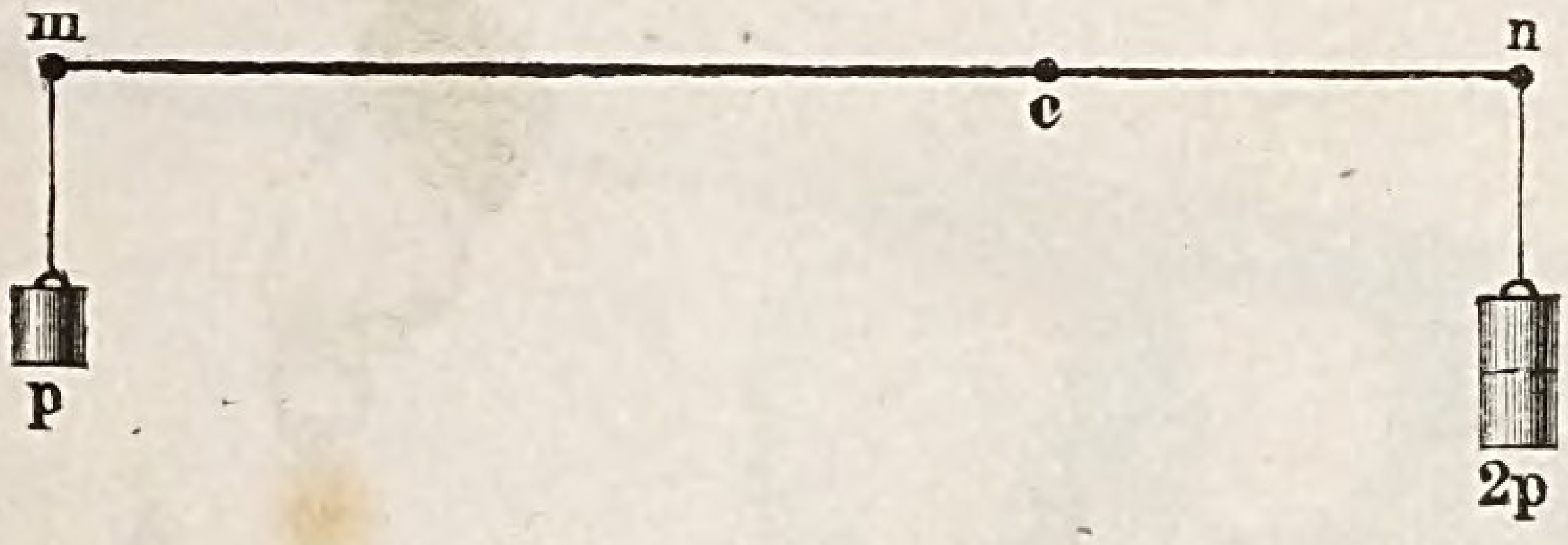
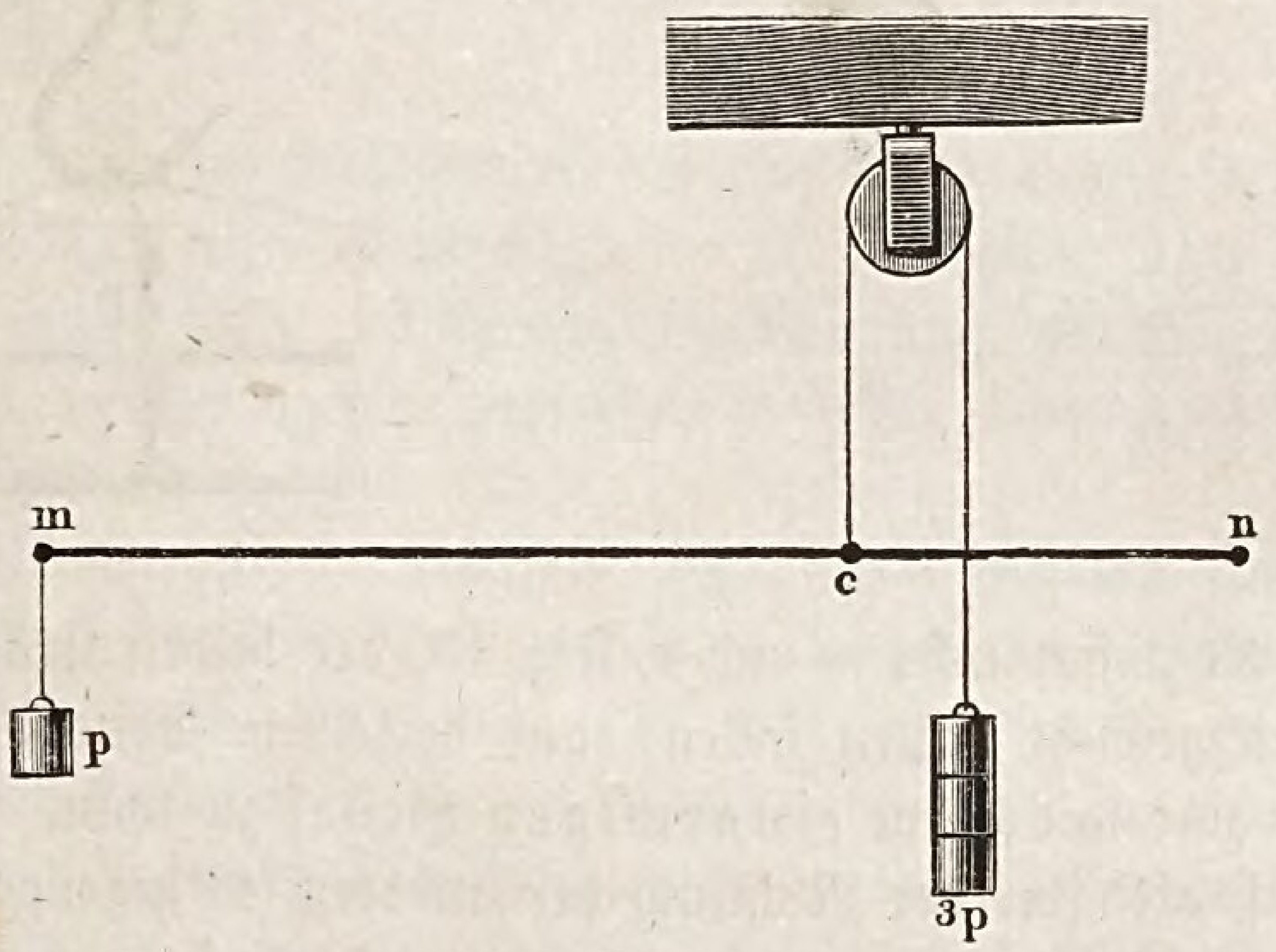


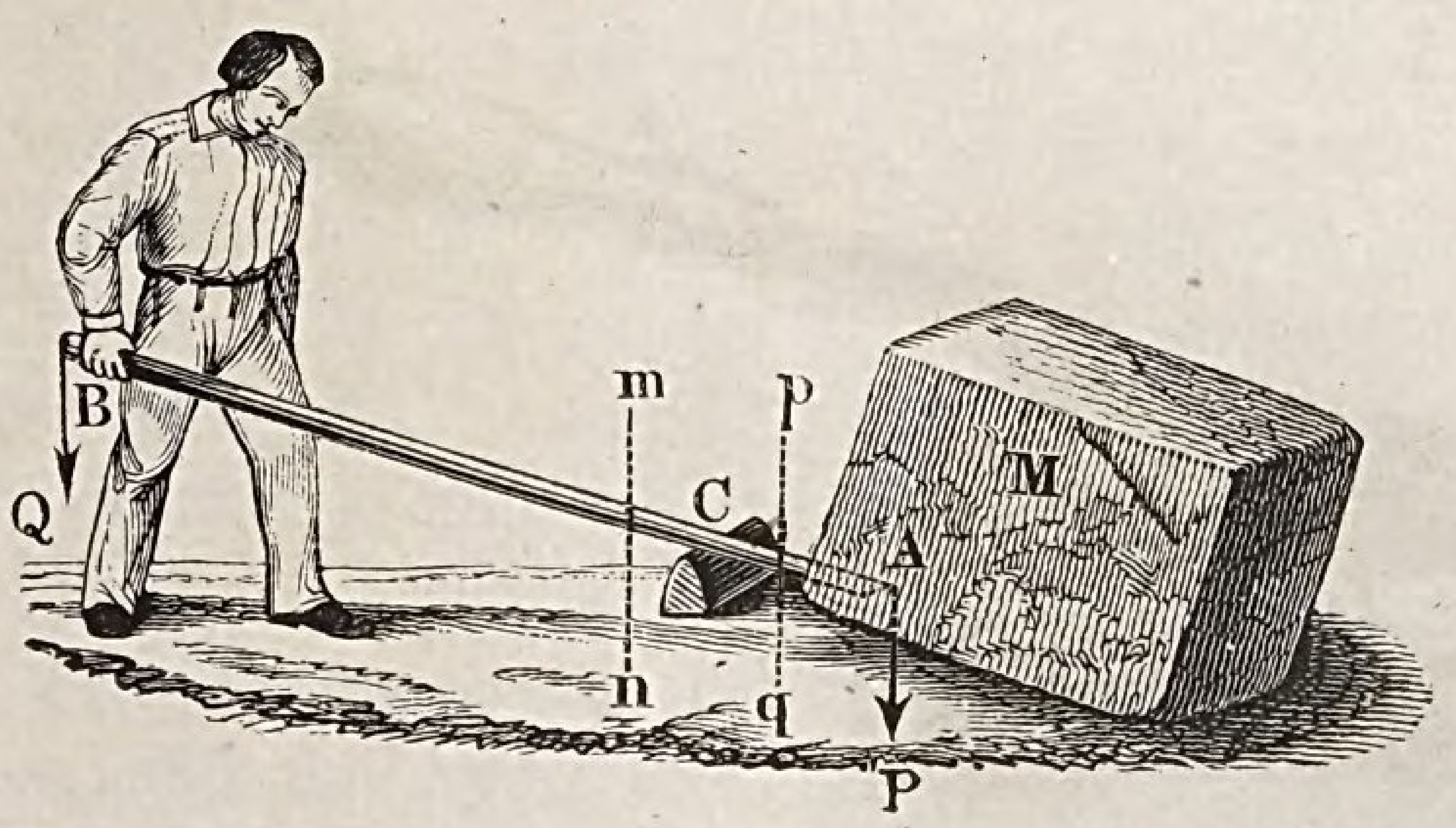
Fig. 43.



dende Kraft wird um so kleiner, je größer der Hebelarm ist, an welchem sie angreift.

In dem eben betrachteten Fall befindet sich der Drehpunkt c zwischen den beiden Punkten m und n, in welchen die Kräfte p und $2p$ nach gleicher Richtung angreifen. Ein solcher Hebel wird ein **zweiarmiger** genannt. Erläuternde Beispiele des zweiarmigen Hebels sind die **Brechstangen**, Fig. 44. Der Stützpunkt ist in C; durch die an dem längeren Hebelarm bei B angreifende Kraft kann eine größere Last gehoben werden, welche das Ende des kürzeren Hebelarms niederzudrücken strebt.

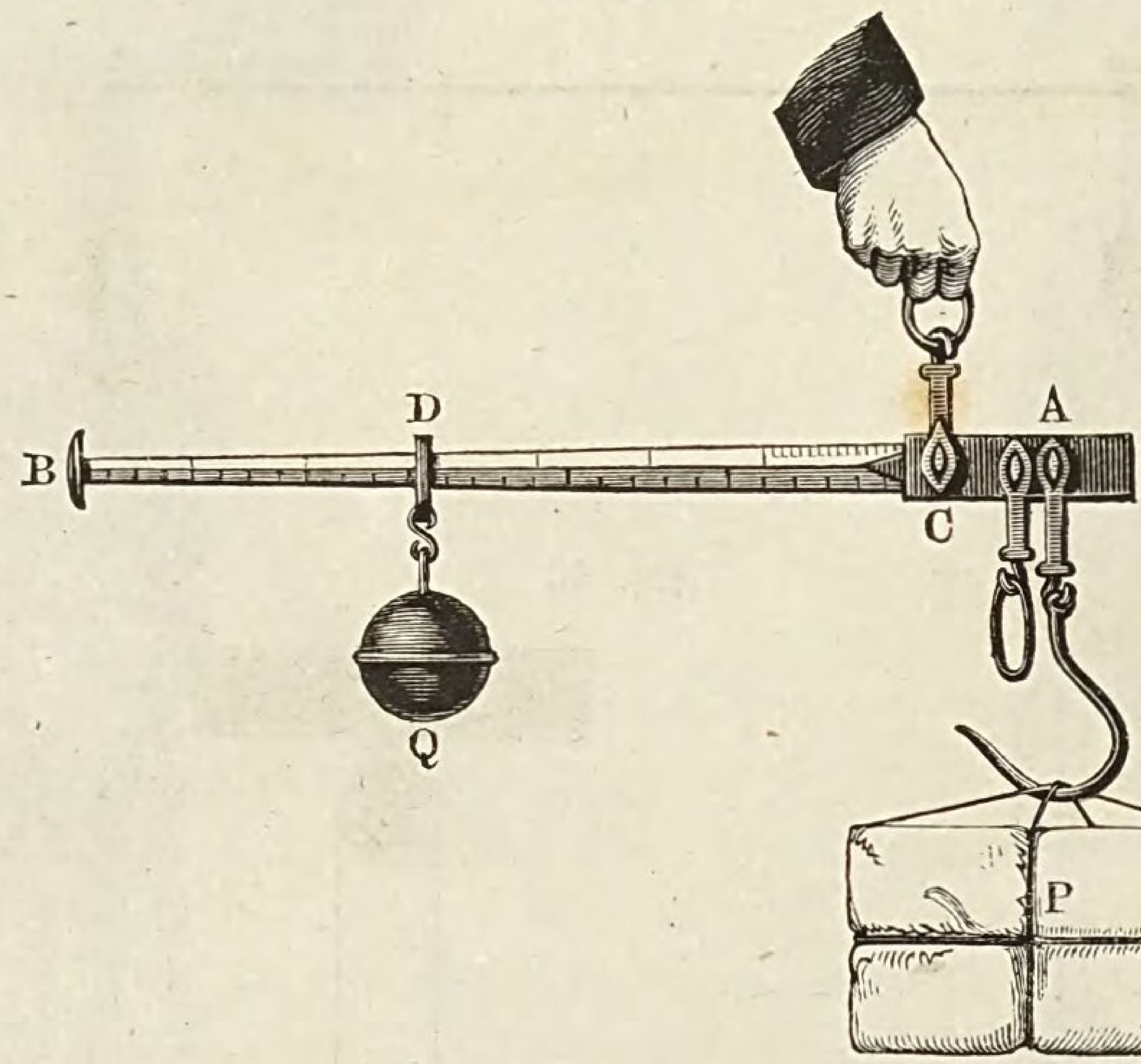
Fig. 44.



Bei der **Schnellwage**, Fig. 45 (a. f. S.), ist der Drehpunkt abermals mit C bezeichnet. Die Last P hängt an dem kleinen Hebelarm CA; man hält ihr mit einem kleineren **Laufgewicht** Q das Gleichgewicht, welches, um das

Gleichgewicht herzustellen, um so mehr gegen *B* hingeschoben werden muß, je schwerer die Last *P* wird.

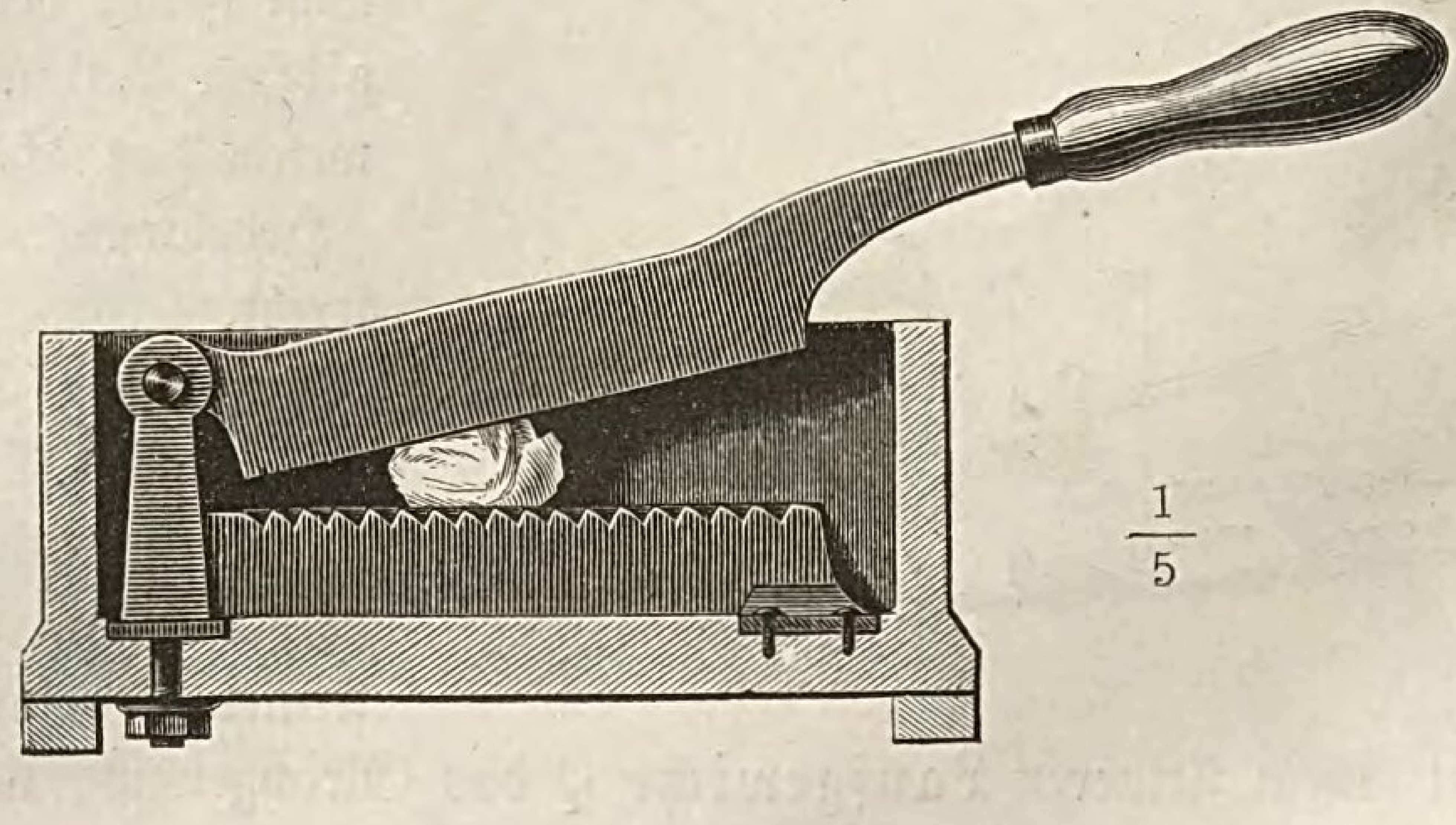
Fig. 45.



Wenn die Angriffspunkte *m* und *c*, Fig. 43, der beiden Kräfte, welche sich am Hebel das Gleichgewicht halten sollen, auf derselben Seite des Drehpunkts *n* liegen, so haben wir mit einem einarmigen Hebel zu thun. Die Richtung der einen Kraft muß alsdann der Richtung der anderen entgegengesetzt sein. Wenn die in *m* wirkende Kraft nach unten wirkt, so muß die in *c* angreifende nach oben gerichtet sein. Auch hier findet Gleichgewicht statt, wenn sich die Kräfte umgekehrt verhalten, wie ihre Hebelarme (wie die Abstände ihrer Angriffspunkte vom Drehpunkt). Der Hebelarm *mn* ist 3 mal so lang als *cn*, deshalb muß die in *m* angreifende Kraft 3 mal kleiner sein als die in *c* angreifende.

So wie eine kleine Kraft am Hebel einer größeren das Gleichgewicht halten kann, so kann man den Hebel auch gebrauchen, um mittelst einer kleineren Kraft einen größeren Druck auszuüben, wie dies bei den Zuckerbrechmaschinen, Fig. 46,

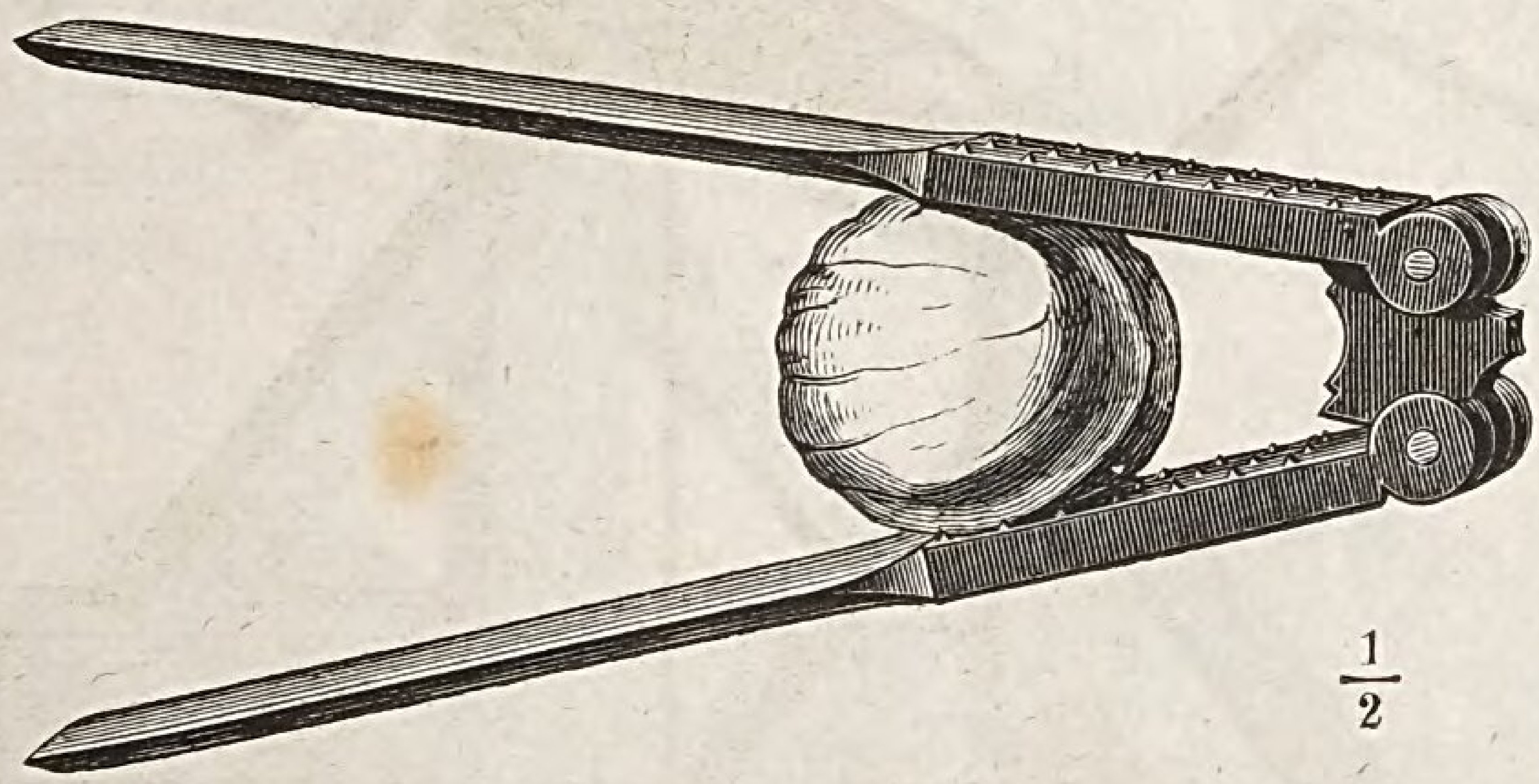
Fig. 46.



$\frac{1}{5}$

und dem Nußknacker, Fig. 47, der Fall ist, welche als Beispiele der Anwendung des einarmigen Hebels dienen mögen.

Fig. 47.



Die Anwendungen des Hebels sind im praktischen Leben so häufig, daß es dem aufmerksamen Leser keine Schwierigkeiten machen wird, noch manche hierher gehörige Beispiele anzuführen. Daß auch die Wirkung des **Haspels**, Fig. 48 (a. f. S.), sich auf die Hebelgesetze zurückführen läßt, wird jeder Denkende ohne weitere Erläuterung leicht einsehen.

In die Classe der **mechanischen Potenzen** gehören auch die **schiefe Ebene, die Schraube, der Keil** ꝛc., deren eingehende Besprechung uns hier zu weit führen würde. Wie verschieden aber auch sonst der Bau der Instrumente sein mag, bei denen sie in Anwendung kommen, so muß man doch zu richtiger Beurtheilung ihrer Wirkungsweise stets an dem Satze festhalten, **daß auf der einen Seite an Kraft gewonnen wird, was andererseits an Geschwindigkeit verloren geht, oder umgekehrt.**

Der Schwerpunkt. In Fig. 49 (a. f. S.) stellt AB ein rechteckiges, un- 35 gefähr 1 Kilogr. schweres Brett dar, welches bei einer Dicke von ungefähr 2 Centimetern 10 Centimeter hoch ist und eine entsprechende Länge hat. In der Mitte der vorderen Fläche bei c bohre man nun ein Loch durch das Brett, dessen Richtung rechtwinklig auf seiner Oberfläche steht, so ist die Mitte dieses Loches der **Schwerpunkt** des Brettes, d. h. der Punkt, in welchem das ganze Gewicht des Brettes concentrirt sein könnte, ohne das Gleichgewicht zu stören.

Durch das Loch bei c ziehe man nun ein Stück Kordel (Bindfaden), mit dem man eine Schleife bildet, wie die Figur zeigt. Ist dann die Schnur K um eine Rolle geschlungen, wie die Figur gleichfalls zeigt, so muß man nun an das freie Ende dieser Schnur ein Gewicht P anhängen, welches dem Gewichte des Brettes gleich ist, wenn Gleichgewicht stattfinden soll. Wiegt das Brett AB 1 Kilogramm, so muß auch das Gewicht P 1 Kilogramm betragen.

Denken wir uns die Richtung der Schnur K nach unten verlängert, so geht diese Verlängerung gerade durch den Schwerpunkt des Brettes. Ist nun dieser Schwerpunkt auf irgend eine Weise unterstützt, so daß er sich nicht nach abwärts bewegen kann, so findet Gleichgewicht statt.

Einen solchen **Schwerpunkt** hat jeder feste Körper, mag er nun regel-

Fig. 48.

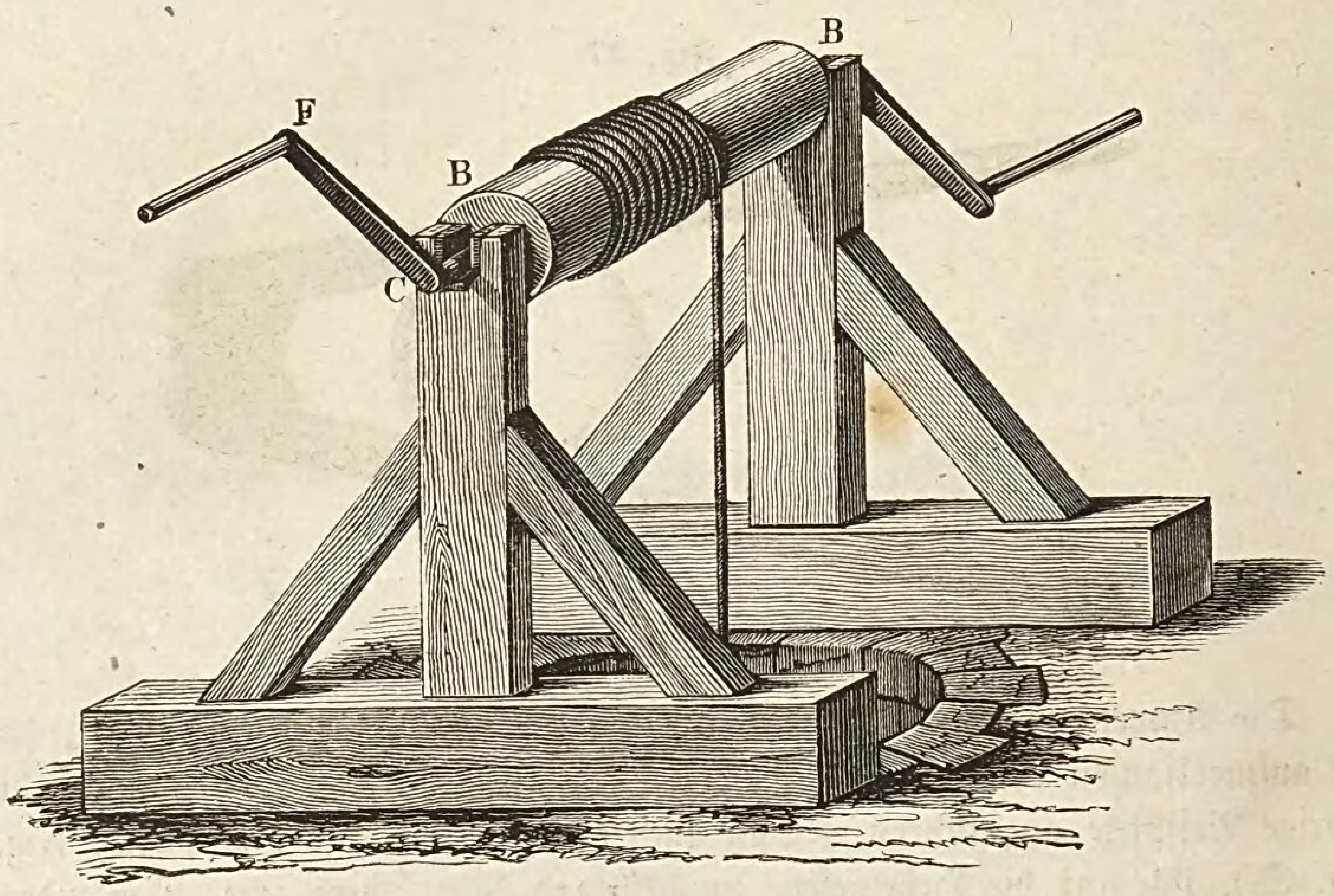
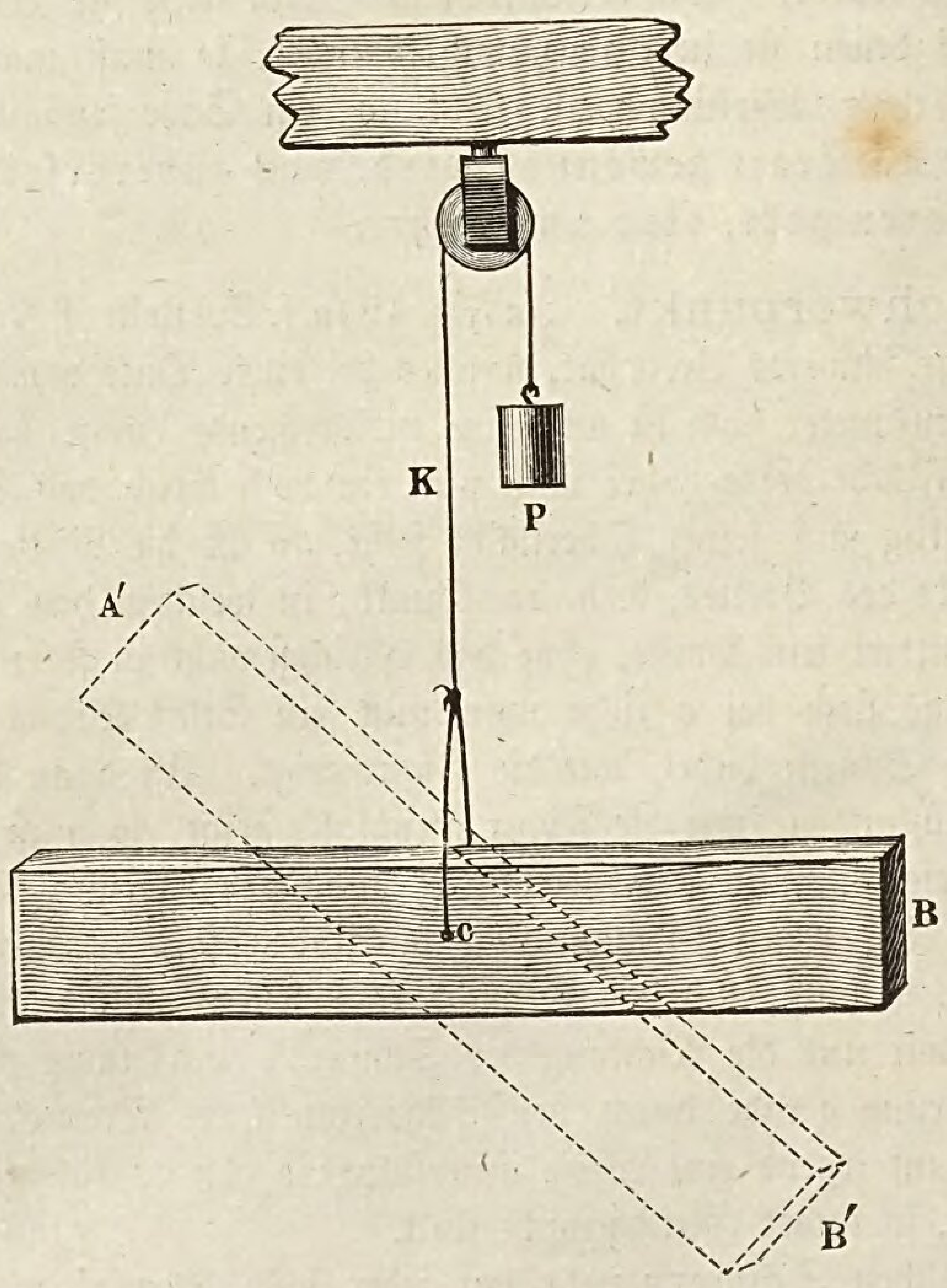


Fig. 49.



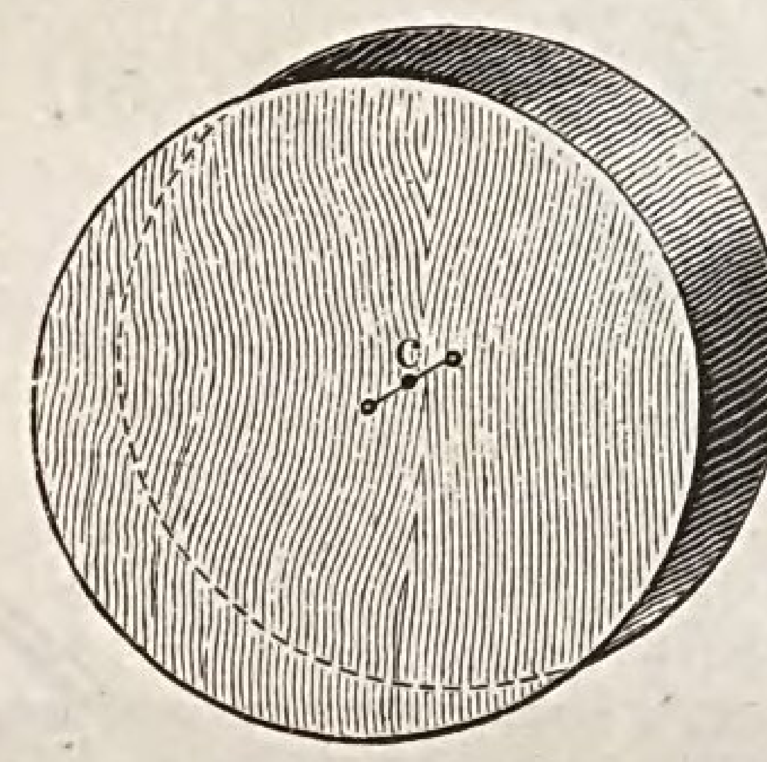
mäßig oder unregelmäßig gestaltet, mag er seiner ganzen Ausdehnung nach aus dem gleichen Stoff bestehen oder nicht.

Der **Schwerpunkt** eines regelmäßig gestalteten, seiner ganzen Ausdehnung nach aus einer gleichförmigen Masse gebildeten festen Körpers fällt mit seinem geometrischen Mittelpunkte zusammen. Der Schwerpunkt einer ganz eisernen Kugel, Fig. 50, fällt mit ihrem Centrum *c* zusammen. Der Schwerpunkt eines ganz aus gleichförmigem Stoff bestehenden Würfels liegt in dessen Mittel-

Fig. 50.



Fig. 51.



punkt, d. h. an der Stelle, in welcher sich die Linien schneiden, die man sich von jedem Eck aus zu dem gegenüberstehenden Eck gezogen denken kann. Der Schwerpunkt einer durchaus gleichartigen cylindrischen Scheibe, Fig. 51, liegt in dem Mittelpunkt *c* ihrer Axe. Der Schwerpunkt einer Pyramide, Fig. 52, liegt auf ihrer Axe und zwar in einem Punkte *c*, der um $1/3$ der Pyramidenhöhe über dem Boden liegt, vorausgesetzt wieder, daß die ganze Pyramide aus dem gleichen Stoff besteht.

Fig. 53 stellt eine hölzerne Walze dar, deren Schwerpunkt in *c* liegen würde, wenn sie ihrer ganzen Ausdehnung nach aus der gleichen Holzmasse bestände. Wird aber nun bei *b* parallel mit der Walzenaxe ein cylindrisches Loch gebohrt und dasselbe mit Blei ausgegossen, so besteht nun die Walze nicht mehr ihrer ganzen Ausdehnung nach aus demselben Stoff. Das bei *b* eingegossene Blei wiegt bei Weitem mehr als das ausgebohrte Holz, der Schwerpunkt der

Fig. 52.

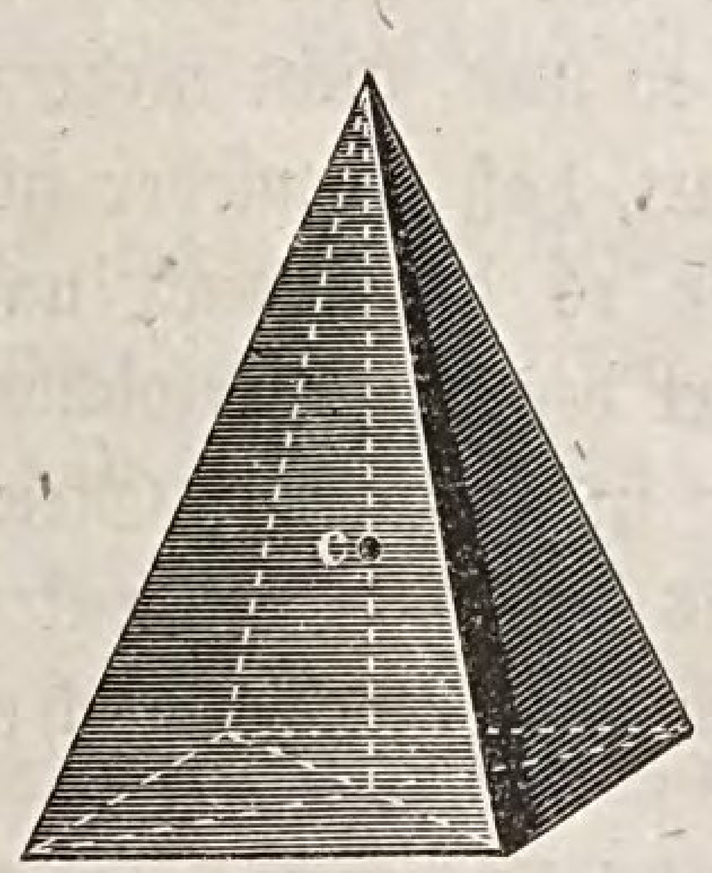
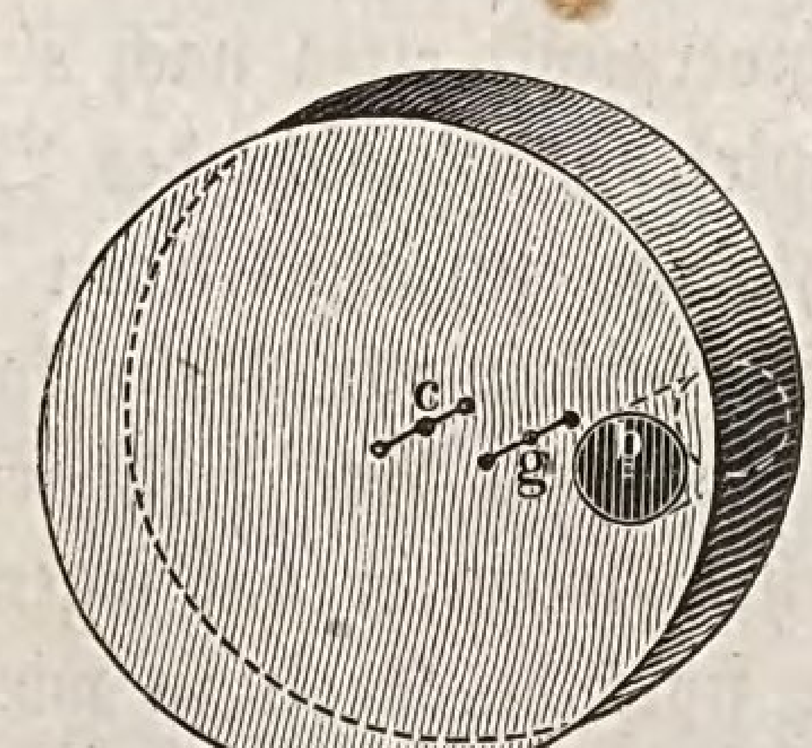


Fig. 53.



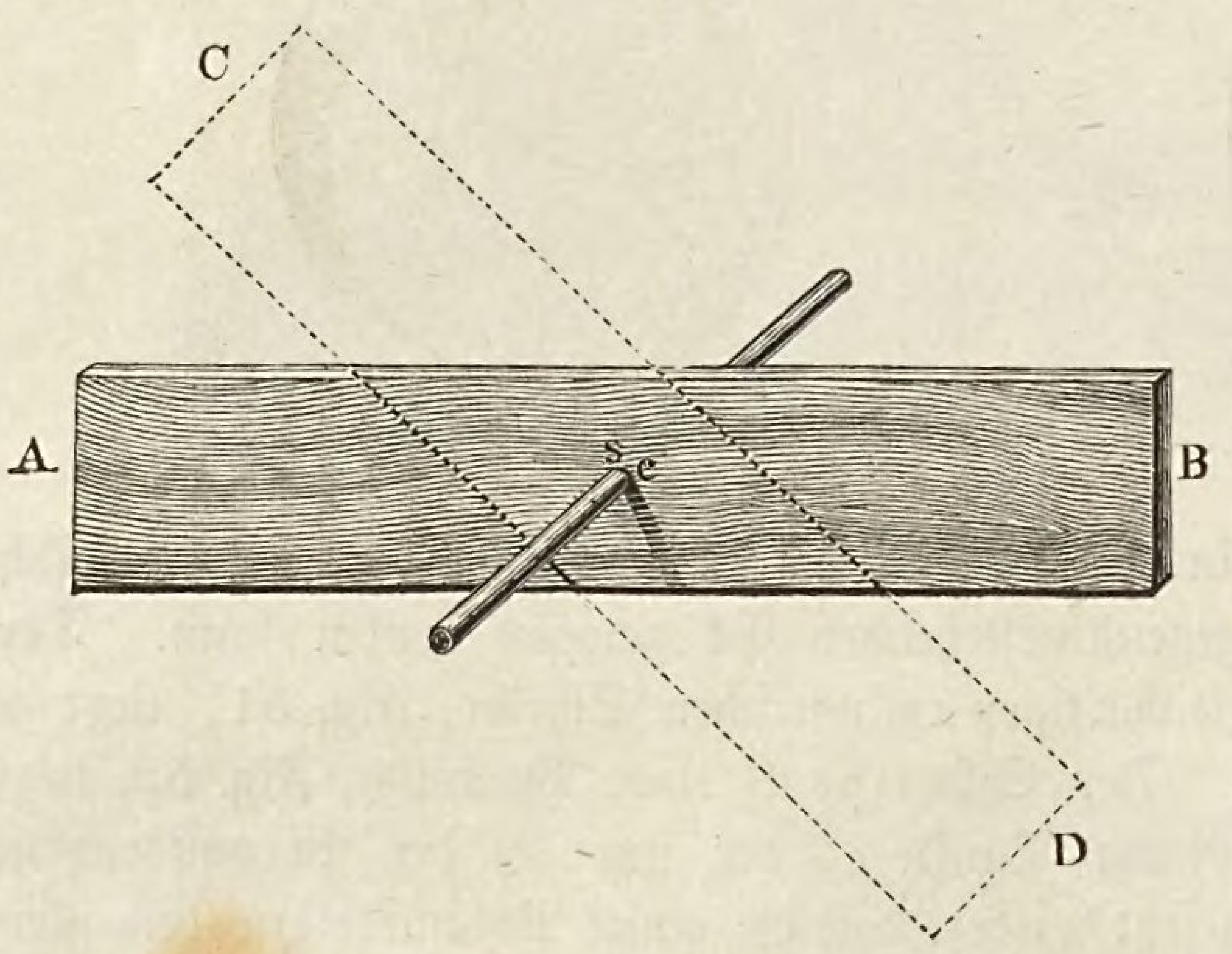
ganzen Walze liegt deshalb nicht mehr in *c*, sondern in einem Punkte *g*, welcher zwischen *c* und dem geometrischen Mittelpunkt des eingegossenen Bleicylinders liegt,

dessen Lage aber davon abhängt, in welchem Verhältniß das Gewicht des eingegossenen Bleicylinders zum Gewicht der ganzen Holzwalze steht.

Ist ein schwerer Körper um eine feste Axe drehbar, welche durch seinen Schwerpunkt geht, so findet Gleichgewicht statt, welches auch sonst die Stellung des Körpers sein mag. So ist das Brett AB, Fig. 49, im Gleichgewicht, mag es nun die Lage AB, oder die Lage $A'B'$, oder endlich eine solche Lage haben, daß das Ende A gesenkt und B gehoben ist.

Bohrt man in ein Brett nach der angegebenen Weise ein Loch, welches durch seinen Schwerpunkt geht, steckt man alsdann ein eisernes Stäbchen durch das Loch, wie es in Fig. 54 angedeutet ist, so wird das Brett dem eben Gesagten zufolge im Gleichgewicht sein, wenn nur das horizontal gehaltene Stäbchen eine vollkommen feste Stellung hat, welches übrigens auch die Stellung des Brettes sein mag. Ein derartiges Gleichgewicht, bei welchem sich der Körper um eine durch seinen Schwerpunkt gehende Axe drehen kann, wird als gleichgültiges (indifferentes) oder als unbestimmtes Gleichgewicht bezeichnet. Ist durch das Brett ein zweites Loch gebohrt und durch dieses in horizontaler Richtung ein eisernes Stäbchen gesteckt, so ist das Brett nur dann im Gleichgewicht, wenn der Schwerpunkt s des Stäbchens genau in der Verticallinie liegt, welche man sich durch den Drehpunkt c des Brettes gelegt denken kann, wenn also der Schwerpunkt s genau unter dem Drehpunkt c liegt, wie Fig. 55, oder genau über dem Drehpunkt, wie Fig. 56.

Fig. 54.



Betrachten wir zunächst den Fall, daß der Schwerpunkt unter dem Drehpunkt liegt, wie Fig. 55. Wird nun der Körper um den Punkt c so gedreht, daß der Schwerpunkt etwa nach s' kommt, so ist er nun nicht mehr unterstützt, das auf s' wirkende Gewicht des Brettes wirkt derart, daß es wieder in seine alte Gleichgewichtslage zurückgetrieben wird, in welcher es dann auch nach einigen Schwingungen wieder zur Ruhe kommt. Diese Art des Gleichgewichts, bei welcher der um eine feste Axe drehbare Körper wieder in seine alte Gleichgewichtslage zurückkehrt, wenn er auf irgend eine Weise aus derselben entfernt worden ist und nun die störende Kraft zu wirken aufhört, wird als festes, sicheres (stabiles) Gleichgewicht bezeichnet.

Befindet sich aber der Schwerpunkt s genau über dem Drehpunkt, wie es Fig. 56 andeutet, so haben wir den Fall des unsicheren (labilen) Gleichgewichts, denn wenn nun der Schwerpunkt s nur im Mindesten aus seiner Gleichgewichtslage heraus, etwa nach s' gebracht wird, so strebt nun das Gewicht des Brettes,

welches immer so wirkt, als ob es in seinem Schwerpunkt s' vereinigt wäre, denselben immer weiter von seiner Gleichgewichtslage s zu entfernen; das Brett

Fig. 55.

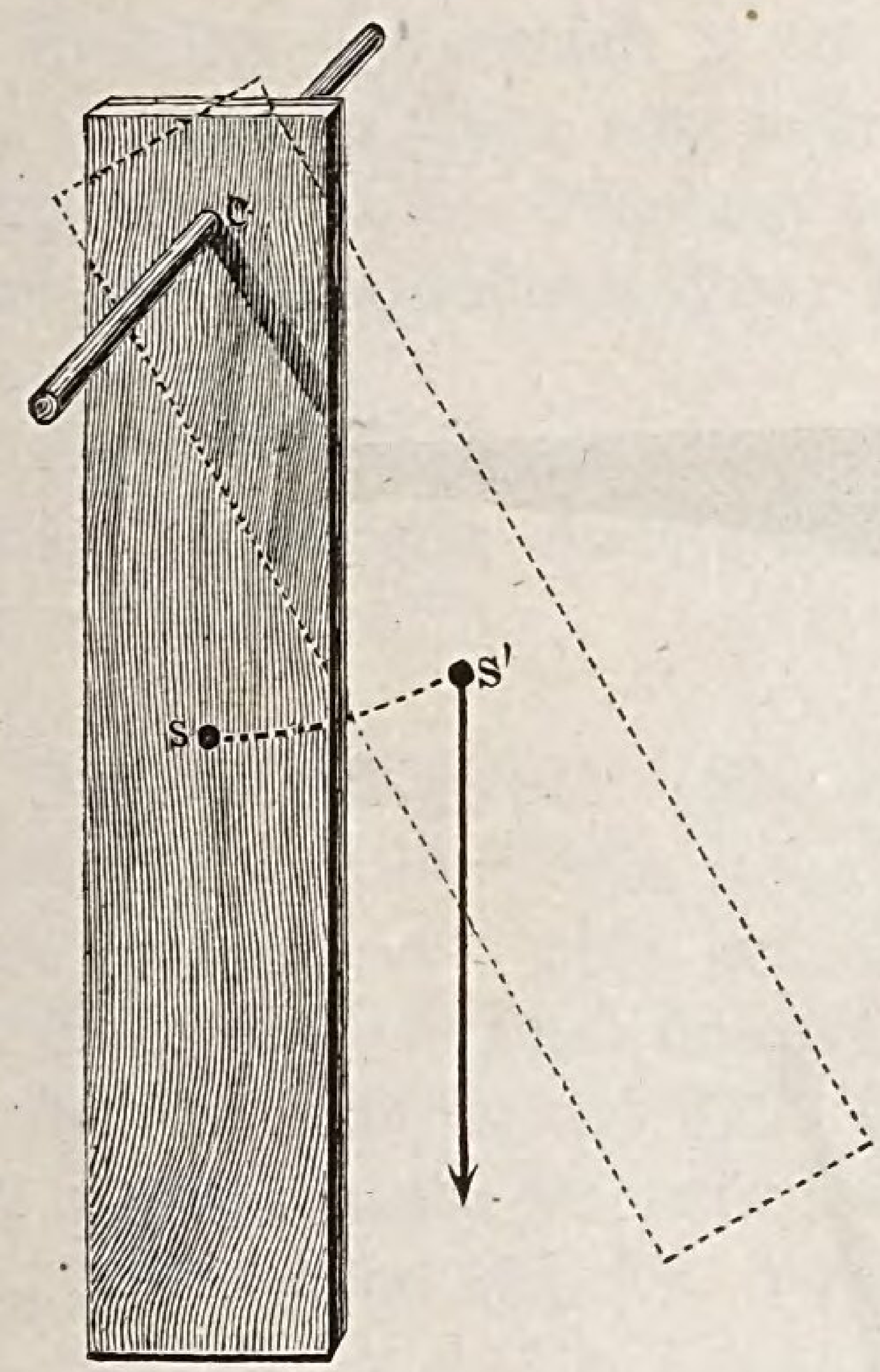
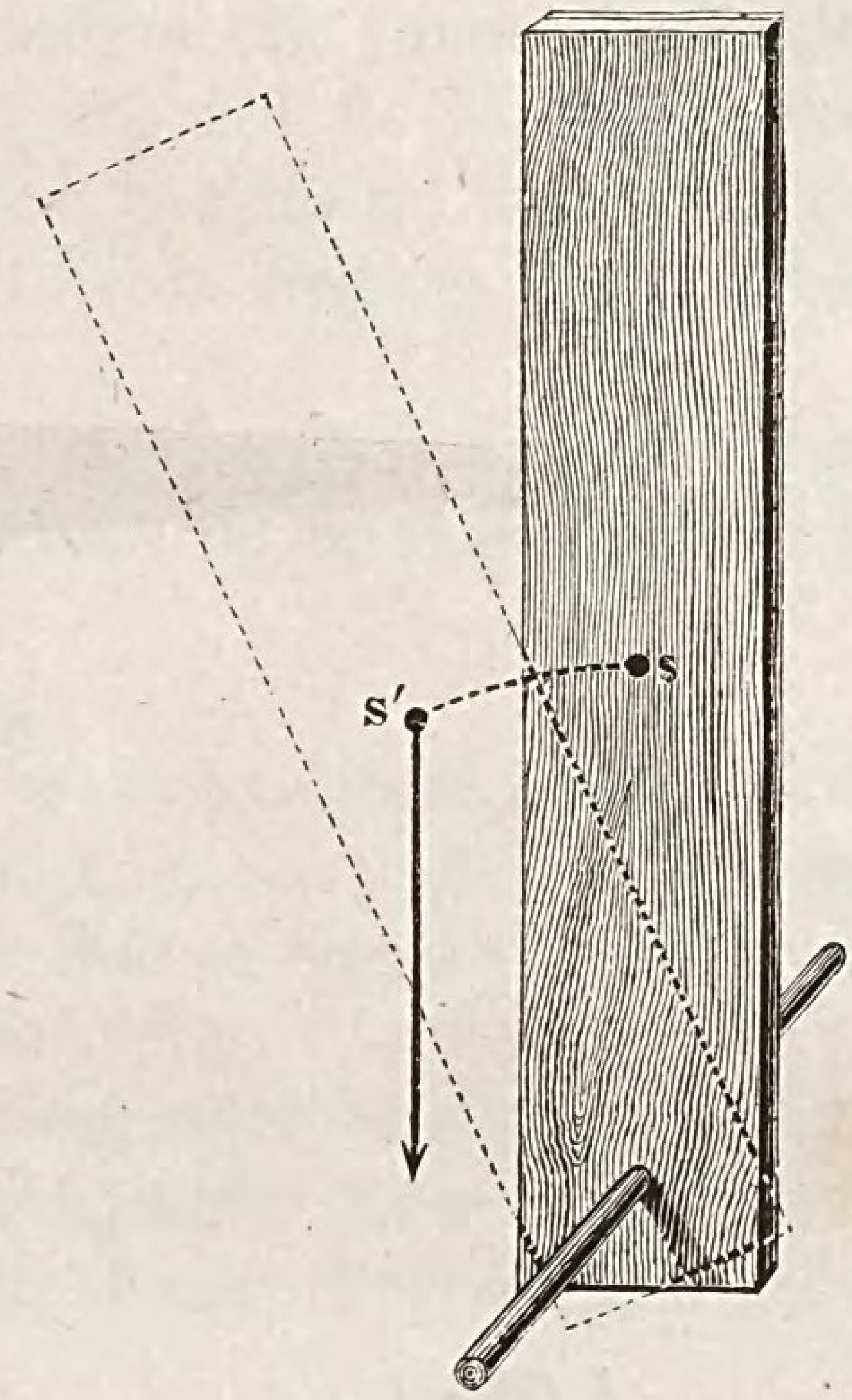


Fig. 56.



schlägt ganz um und kommt nicht eher wieder ins Gleichgewicht, als bis sein Schwerpunkt unter seinem Drehpunkt anlangt, also die Lage des festen Gleichgewichts erreicht ist.

Wenn also ein fester Körper so aufgehängt ist, daß er sich um eine unbewegliche horinzontale Axe drehen kann, so findet nur dann Gleichgewicht statt, wenn der Schwerpunkt des Körpers mit dem Drehpunkt in einer und derselben senkrechten Linie liegt; es sind aber hier drei Fälle des Gleichgewichts zu unterscheiden, nämlich:

1. Das unbestimmte Gleichgewicht, wenn der Schwerpunkt des Körpers mit seinem Drehpunkt zusammenfällt;

2. das feste Gleichgewicht, wenn der Schwerpunkt des Körpers unter, und

3. das unsichere Gleichgewicht, wenn der Schwerpunkt des Körpers über seinem Drehpunkt liegt.

Die gewöhnliche Wage ist nun eigentlich nichts anderes als ein zweiarmiger Hebel AB, Fig. 57 (a. f. S.), dessen beide Arme sA und sB einander gleich sind.

Die mittlere Schneide s, welche nach unten gekehrt zu beiden Seiten des Wagebalkens vorsteht, ruht jederseits auf einer Stahlplatte, welche in der, die ganze Vorrichtung tragenden Scheere eingelassen ist, wie Fig. 58 (a. f. S.) zeigt. Diese mittlere Schneide s bildet den Drehpunkt des Hebels.

Die beiden anderen gleichweit von s entfernten Stahlschneiden A und B

sind nach oben gekehrt und dienen zum Anhängen der Wagschalen. Die drei Schneiden *A*, *s* und *B* liegen in einer geraden Linie.

Fig. 57.

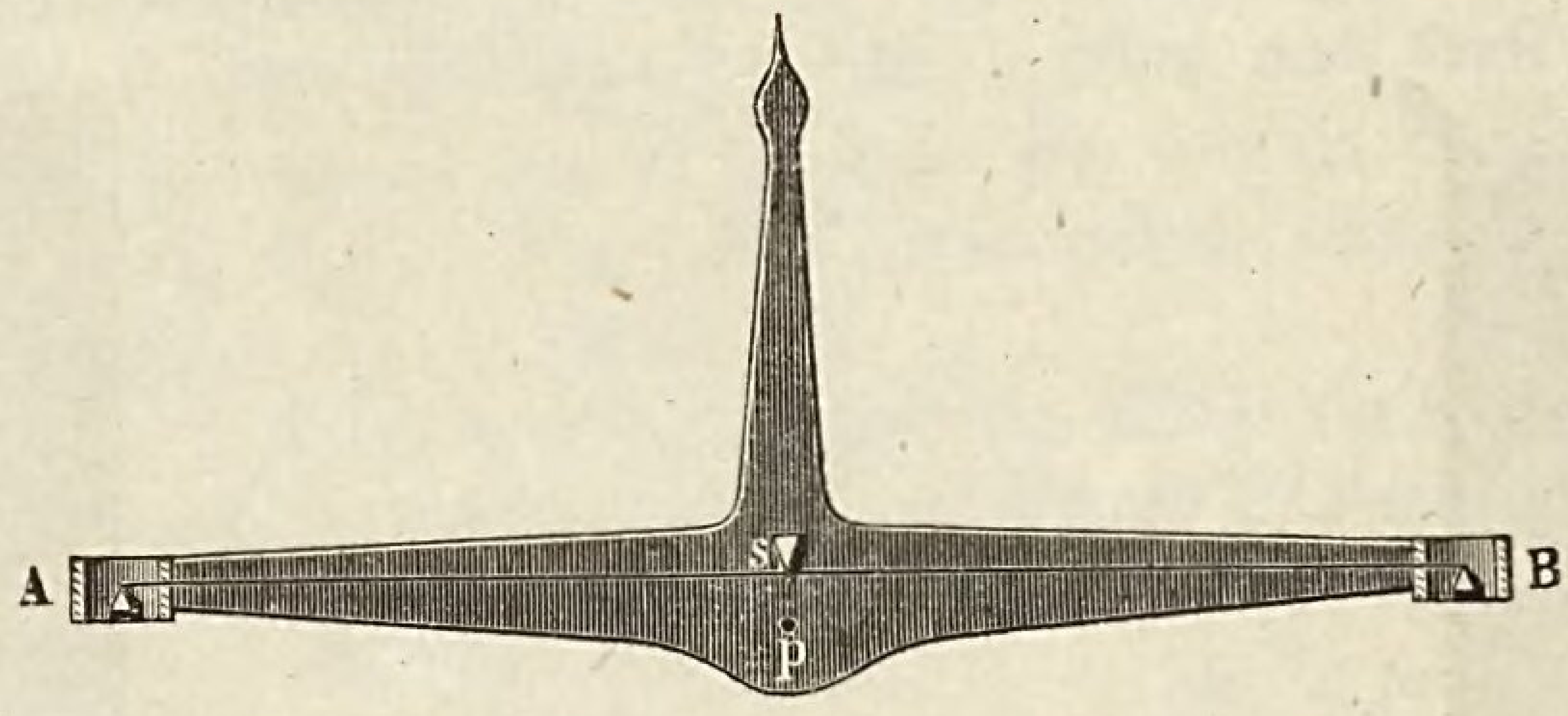
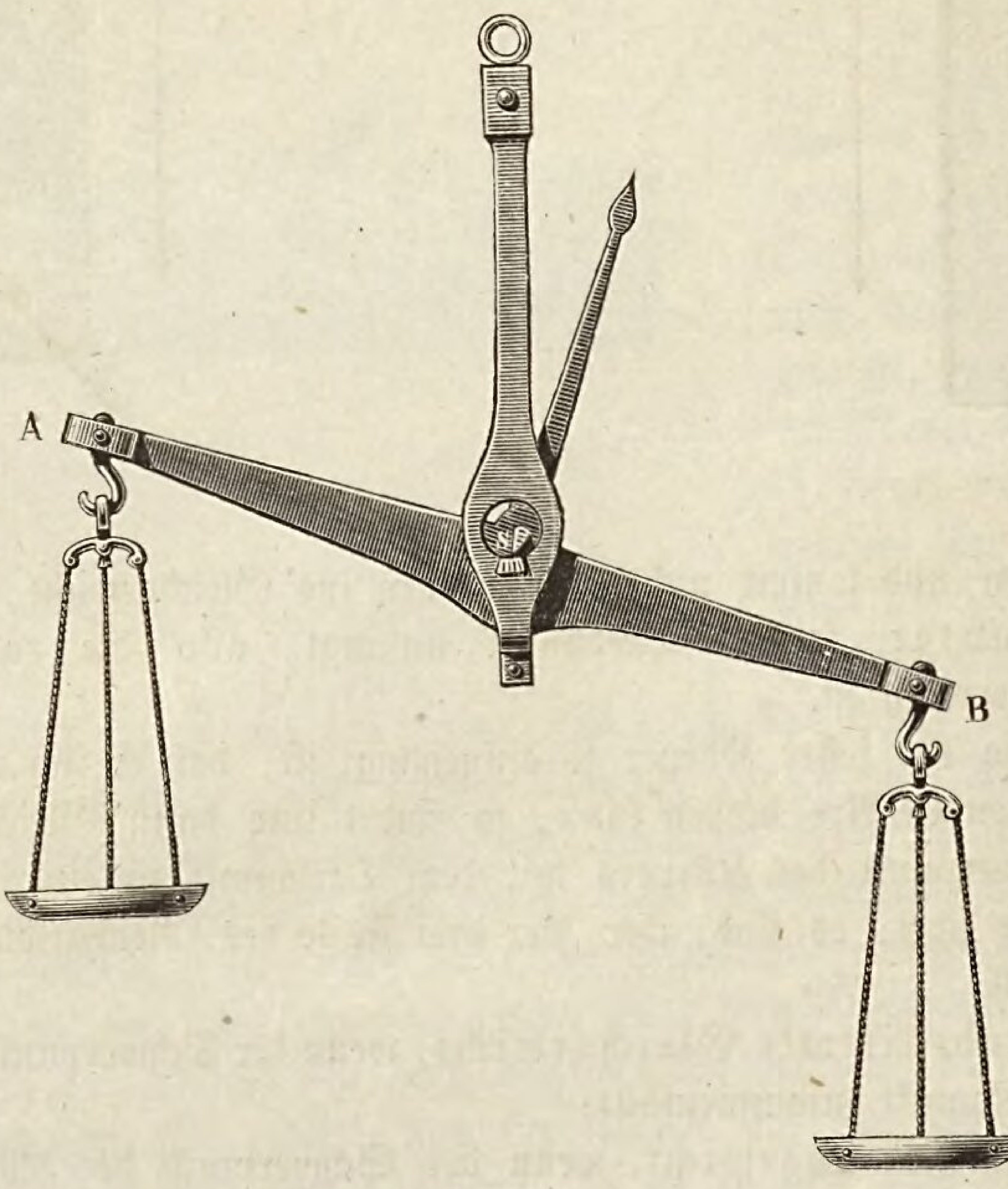


Fig. 58.



Der Wagebalken ist nun aber so geformt, daß derjenige Theil seiner Masse, welcher unterhalb der geraden Linie *AsB* liegt, größer ist, als der über *AsB* liegende Theil, wie man auch aus dem Anblick der Fig. 57 leicht ersehen kann; in Folge davon liegt nun aber auch der Schwerpunkt *p* des Wagebalkens unter dem Drehpunkt *s*, der Wagebalken befindet sich im Zustande des festen Gleichgewichts, er muß sich (ohne Belastung der Schneiden *A* und *B*) horizontal (wagerecht) stellen, und kehrt, aus seiner Gleichgewichtslage herausgebracht, nach einer größeren oder kleineren Anzahl von Schwingungen, wieder in dieselbe zurück. Das Gleiche findet statt, wenn in *A* und *B* zwei gleiche Wagschalen angehängt und gleich belastet sind. Ein kleines Uebergewicht auf der einen Seite

verrückt aber den Schwerpunkt etwas nach dieser Seite hin und bewirkt einen entsprechenden Ausschlag, damit der neue Schwerpunkt wieder unter den Drehpunkt zu liegen kommt.

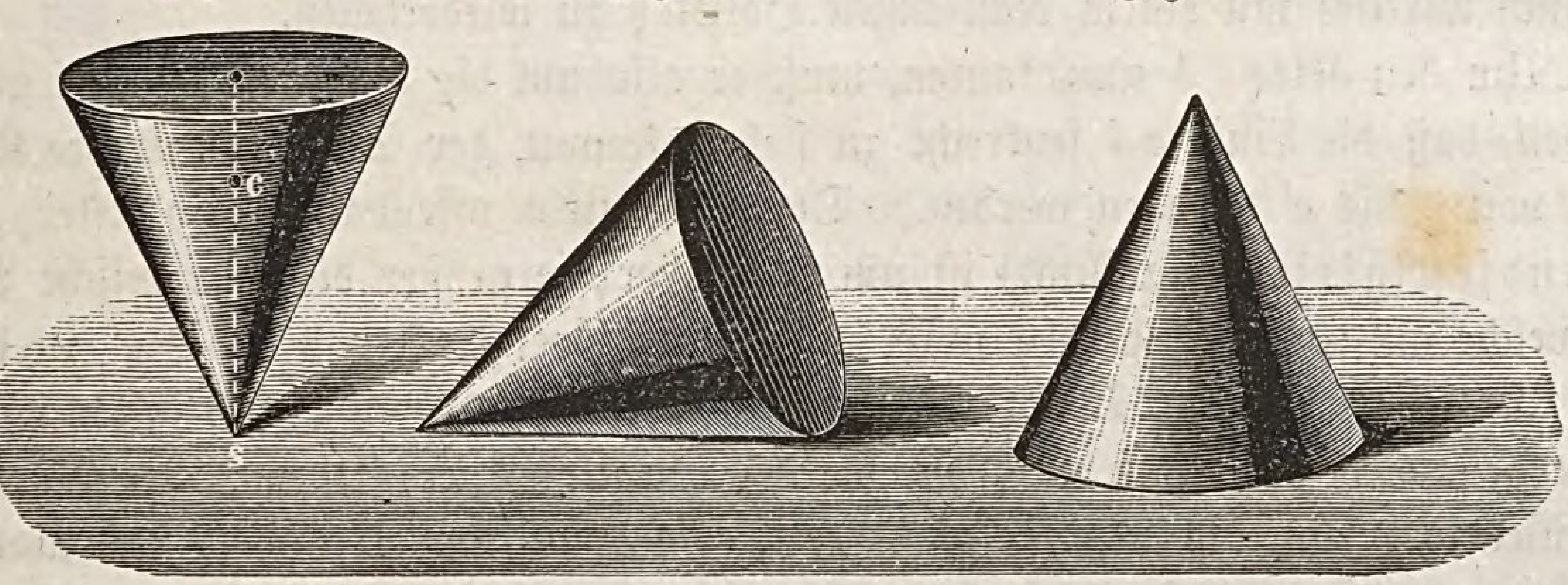
Fiele der Schwerpunkt p des Wagebalkens mit seinem Drehpunkt zusammen, so wäre die Wage nicht mehr brauchbar, weil sie sich alsdann (ohne Belastung und bei gleicher Belastung der beiden Wagschalen) im Zustande des unbestimmten Gleichgewichts befände, also bei jeder Neigung des Wagebalkens in Ruhe bliebe.

Der fleißige Leser versäume ja nicht, das oben Gesagte durch Vergleichung mit einer, wo möglich etwas großen Wage, wie sie im täglichen Leben gebraucht wird, zu erläutern.

Standfestigkeit. Wir haben im vorigen Paragraphen den Fall betrachtet, daß ein fester Körper so aufgehängt ist, daß er sich um eine wagerechte Axe drehen kann; wir haben jetzt auch den Fall zu betrachten, daß er in irgend einer Weise auf einer festen Unterlage steht. 36

Auch hier sind die drei Fälle des Gleichgewichts möglich. Der Körper befindet sich im Zustande des unsicheren Gleichgewichts, wenn er auf einer Spitze steht, wie der Kegel Fig. 59. Gleichgewicht ist zwar möglich, wenn der Schwer-

Fig. 59. Fig. 60. Fig. 61.



punkt c des Kegels genau über seiner Spitze s liegt, bei der geringsten Entfernung des Schwerpunkts c aus der durch die Spitze gelegten Verticallinie muß aber der Kegel ganz umfallen.

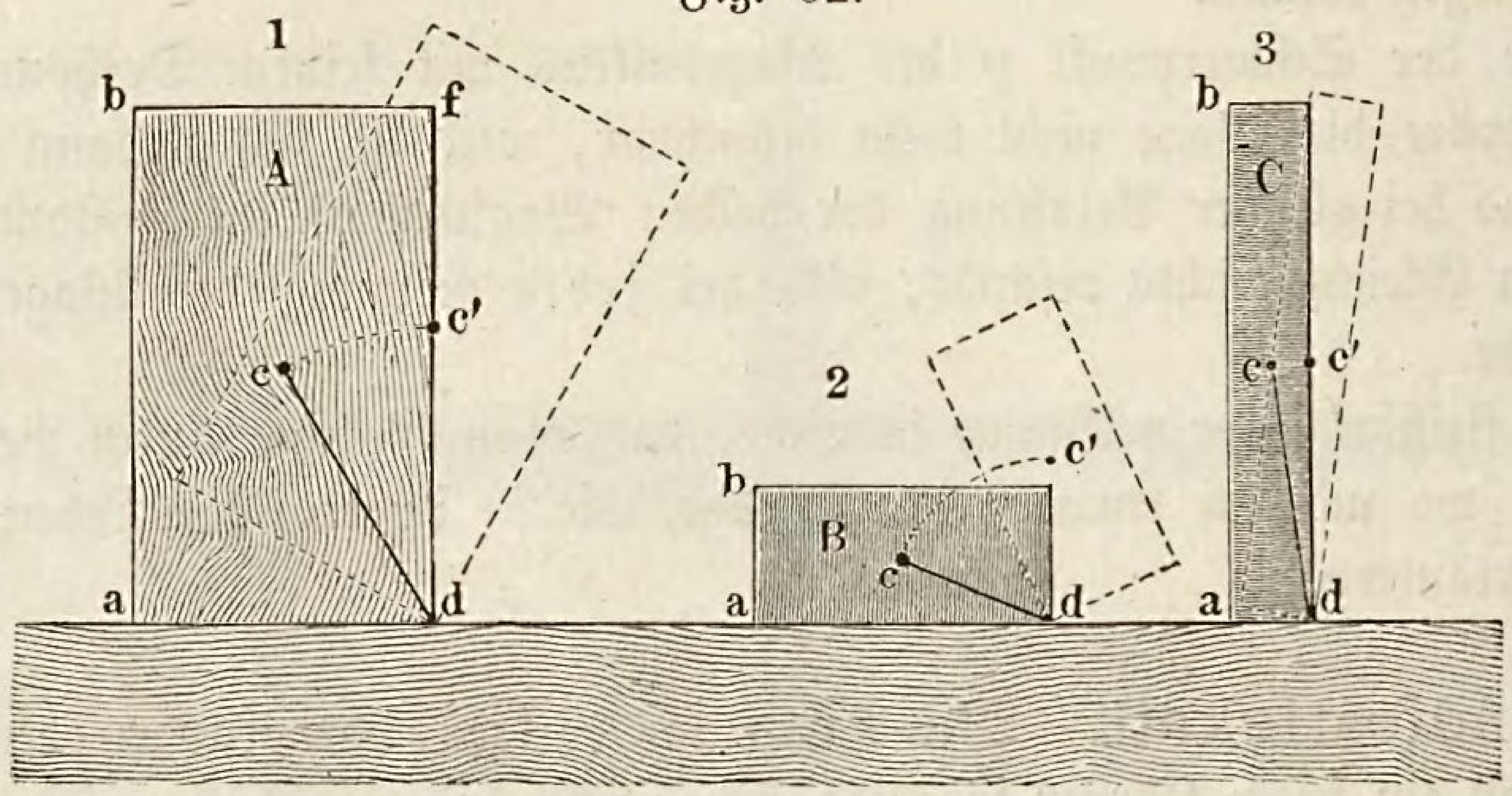
Liegt der Kegel mit irgend einer Linie seiner Mantelfläche auf, wie Fig. 60, so befindet er sich im Zustand des unbestimmten Gleichgewichts, denn er bleibt im Gleichgewicht, wenn man ihn etwas mehr nach der einen oder nach der anderen Seite rollt.

Der Kegel befindet sich endlich im Fall des sicheren Gleichgewichts, er steht fest, Fig. 61, wenn er mit seiner Grundfläche auf der Unterlage ruht. Den letzteren Fall haben wir etwas näher zu beleuchten.

In Nro. 1, Fig. 62 (a. f. S.), stelle A einen (etwa 1 Kilogramm schweren) Holzklotz dar, welcher auf einer rechteckigen Grundfläche steht; eine Kante der Grundfläche erscheint also in a, eine andere erscheint in d zum Punkt verkürzt. Soll nun der Klotz nach der rechten Seite hin umgeworfen (umgekantet) werden, so muß er zunächst um die in d zum Punkt verkürzt erscheinende Kante gedreht wer-

den, bis sein Schwerpunkt c nach dem Punkt c' gekommen ist, welcher senkrecht über d liegt. Ueberläßt man den Klotz sich selbst, ehe der Schwerpunkt auf sei-

Fig. 62.



nem Wege von c nach c' in c' angekommen ist, so fällt er in seine alte Lage zurück, wenn die störende Kraft auf den Klotz einzuwirken aufhört; hat man aber den Klotz um die Kante d so weit gedreht, daß sein Schwerpunkt nur im mindesten über c' hinaus kommt, so fällt er nun von selbst ganz um.

Um das Gesagte gehörig anschaulich zu machen, versäume man nicht, den Versuch wirklich mit einem rechteckigen Holzklotz zu wiederholen.

Um den Klotz A umzukanten, muß er also um die Kante d so weit gedreht werden, daß die Linie cd senkrecht zu stehen kommt, der Schwerpunkt des Klotzes muß von c bis c' gehoben werden. Der Klotz steht offenbar um so fester, seine **Standfestigkeit** (Stabilität) ist um so größer, je größer die mechanische Arbeit ist, welche aufgewendet werden muß, um den Schwerpunkt von c bis c' zu heben.

Es sei nun ferner B ein **Marmorblock**, dessen Gewicht und dessen Grundfläche genau eben so groß sind, wie die des Holzklotzes A, so muß B nothwendig viel niedriger sein, als A, und zwar muß die Höhe von B um so viel mal kleiner sein als die von A, als das Eigengewicht (specifische Gewicht) des Marmors größer ist, als das des Holzes. Ist z. B. das Eigengewicht des Marmors viermal größer, als das des Holzes, so muß der Block B viermal niedriger sein, als der Klotz A. Ist aber bei gleichem Gewicht und gleicher Grundfläche B niedriger als A, so liegt auch der Schwerpunkt c des Marmorblockes B niedriger, als der des Holzklotzes A; will man B um die Kante d umkanten, so muß dabei auch cd um einen viel größeren Winkel gedreht und der Schwerpunkt c viel mehr gehoben werden, als es beim Klotz A der Fall war; die Umkantung von B erfordert also (bei gleichem Gewicht und gleicher Grundfläche von A und B) eine größere mechanische Arbeit, als die von A, oder mit anderen Worten, B steht fester als A.

Wir ziehen daraus allgemein den Schluß: bei gleichem Gewicht und gleicher Grundfläche **steht ein Körper um so fester, je tiefer sein Schwerpunkt liegt.**

In Nro. 3, Fig. 62, sei nun wieder C ein Marmorblock, welcher mit dem Holzklotz A gleiches Gewicht und gleiche Höhe hat, während auch die Ausdehnung

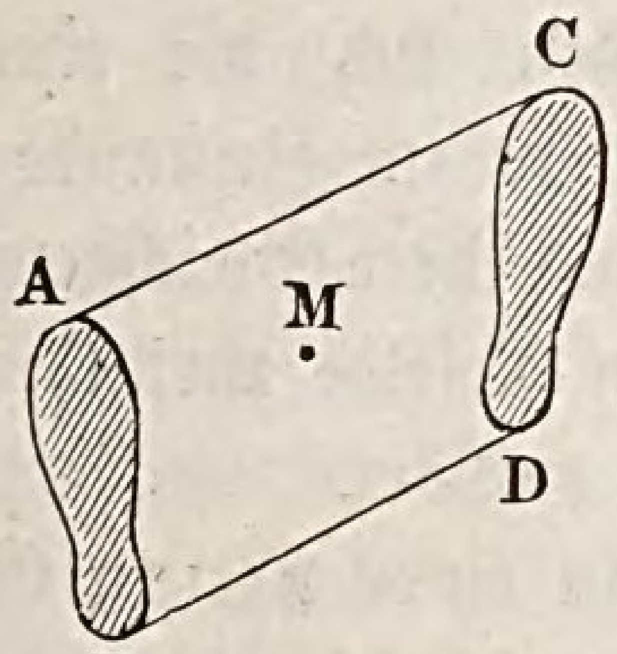
von vorn nach hinten (also die Länge der zum Punkt verkürzt erscheinenden Kante *d*) für *A* und *C* dieselbe ist, so muß *C* nothwendig schmäler sein, als *A*, und zwar ist *C* 4 mal schmäler, wenn das Eigengewicht des Marmors 4 mal größer ist, als das des Holzes. In *C* liegt der Schwerpunkt eben so hoch wie in *A*.

Je schmäler aber *C* ist, desto näher rückt die durch den Schwerpunkt *c* gezogene Senkrechte an *d* heran, desto kleiner wird der Winkel *c d c'*, um welchen man *C* drehen muß, damit der Schwerpunkt *c* senkrecht über *d* zu liegen komme, desto kleiner wird die bei einer solchen Drehung erfolgende Hebung des Schwerpunkts (von *c* bis *c'*), desto leichter wird der Block *B* umzuwerfen sein. Kurz der Anblick der Figur lehrt schon, daß *C* leichter umzuwerfen ist, als *A*.

Bei gleichem Gewicht und gleicher Höhe des Schwerpunkts über dem Boden steht also ein Körper um so fester, seine Standfestigkeit ist um so größer, je breiter seine Grundfläche ist.

Wenn ein Körper auf einzelnen Füßen steht, so ist als Grundfläche diejenige Fläche zu betrachten, deren Gränzen durch die gegebenen Fußpunkte bezeichnet sind. Steht ein Mann fest auf zwei Füßen, Fig. 63, so ist das Viereck *A B C D*, welches durch die beiden Fußsohlen begränzt wird, die Grundfläche, auf welcher er ruht, und der Schwerpunkt seines Körpers muß nahezu senkrecht über dem Mittelpunkte dieses Vierecks liegen. Damit der Schwerpunkt senkrecht über einem Punkte der Unterstützungsfläche bleibt, muß man den Körper vorneigen, Fig. 64, wenn man eine Last auf dem Rücken, man muß sich nach der rechten Seite neigen, Fig. 65, wenn man eine Last in der linken Hand trägt.

Fig. 63.



Bei gleicher Belastung wird deshalb ein breitspuriger Wagen fester stehen, als ein schmalspuriger, und beim Bepacken eines Lastwagens muß man darauf sehen, daß die schwersten Stücke möglichst tief zu liegen kommen, damit der Schwerpunkt der ganzen Ladung möglichst wenig hoch über die Grundfläche zu liegen kommt, auf welcher der Wagen ruht. Es ist immerhin etwas bedenklich,

Fig. 64.



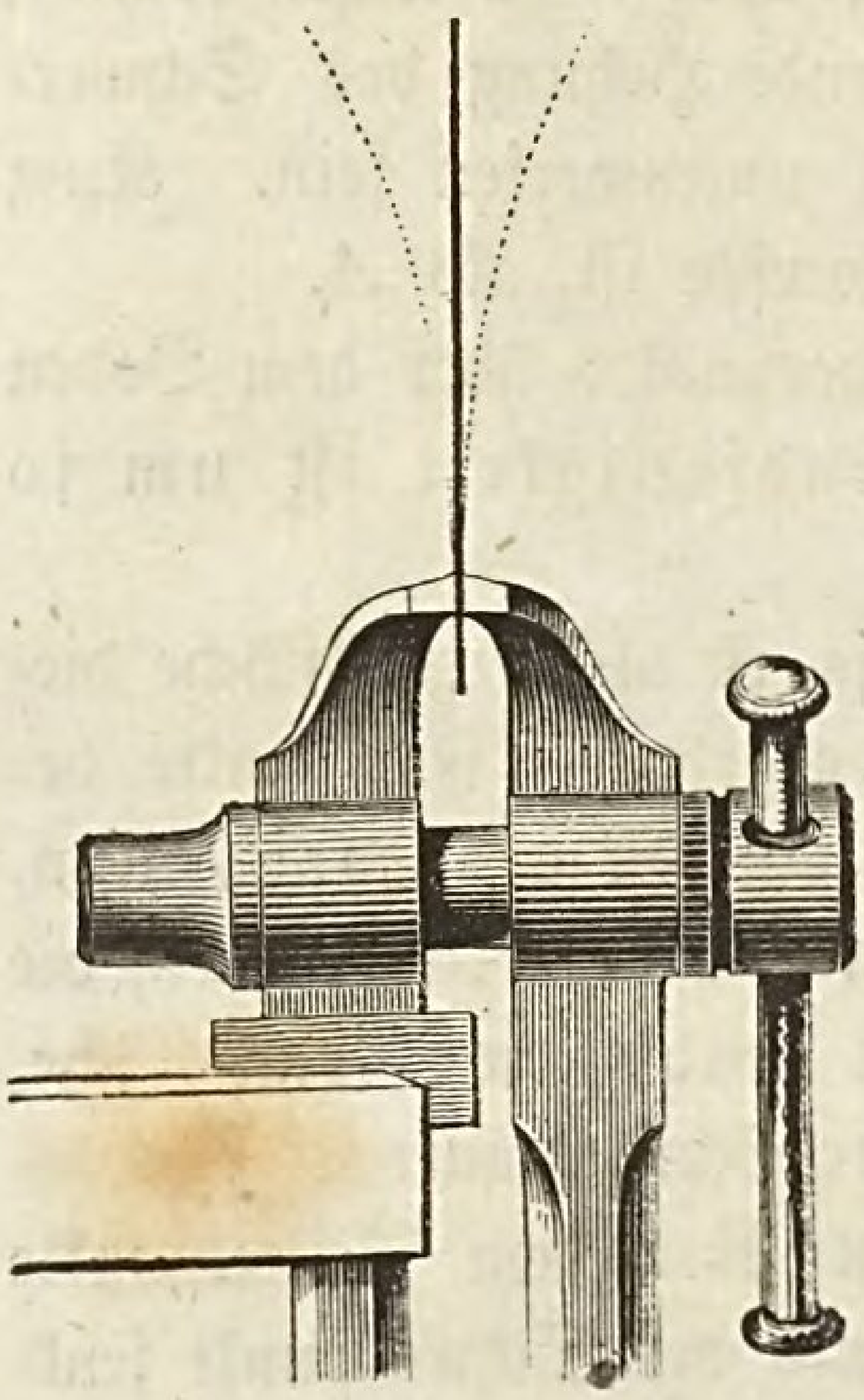
Fig. 65.



wenn viele schwere Koffer auf das Verdeck eines Postwagens geladen werden, weil dadurch der Schwerpunkt der ganzen Last gar zu hoch zu liegen kommt.

37 **Elasticität.** Spannt man einen Stahlstreifen, etwa ein Stück eines Sägeblattes, mit seinem einen Ende fest ein, wie es Fig. 66 andeutet; biegt man das freie Ende desselben um einige Centimeter aus seiner Gleichgewichtslage heraus, um es alsdann wieder loszulassen, so wird der Stahlstreifen eine Reihe von Schwingungen machen, die rasch kleiner werden, so daß er in kurzer Zeit wieder in seiner Gleichgewichtslage zur Ruhe kommt.

Fig. 66.



Wiederholt man den Versuch mit einem Bleistab, so nimmt derselbe alsbald eine bleibende Krümmung an, er kehrt nicht in seine Gleichgewichtslage zurück.

Wird endlich der Versuch mit einem Glasstab (etwa einem Thermometerrohr oder einem Streifen Fensterglas) wiederholt, so bricht derselbe ab.

Im ersten Falle befinden sich die einzelnen Theilchen des Körpers offenbar im Zustande eines festen Gleichgewichts, denn aus ihrer Gleichgewichtslage verschoben, kehren sie in dieselbe zurück, wenn die störende Kraft zu wirken aufhört.

Im zweiten Falle ordnen sich die Theilchen alsbald zu einer neuen Gleichgewichtslage, wenn sie nur wenig aus der ursprünglichen verschoben werden, wir haben es also mit einem veränderlichen oder unbestimmten Gleichgewicht zu thun.

Der Glasstab endlich zeigt uns ein Beispiel des unsicheren Gleichgewichts der Theilchen, weil dasselbe gleich vollständig zerstört wird, wenn nur eine geringe Verschiebung der Theilchen stattfindet.

Auf eine Platte Kautschuk lege man irgend einen Stahlstempel und führe dann mit einem schweren Hammer einen kräftigen Schlag gegen denselben. Die Kautschukplatte bleibt ungeändert, weil die durch den Schlag etwas zusammengedrückten Theilchen alsbald wieder in ihre vorige gegenseitige Stellung zurückkehren.

Wird bei diesem Versuch eine Bleiplatte an die Stelle der Kautschukplatte gelegt, so wird sie nach dem Schlag den Abdruck des Stempels zeigen, eine Glasplatte aber wird, auf dieselbe Weise behandelt, in Stücke zerbrochen.

Elastisch nennt man Stoffe, deren Theilchen nach einer ziemlich bedeutenden gegenseitigen Verschiebung doch wieder vollständig in ihre vorherige Gleichgewichtslage zurückkehren.

Wenn überhaupt eine große Kraft nöthig ist, um eine gegenseitige Verschiebung der Theilchen eines festen Körpers zu bewirken, so nennt man ihn hart. Ein Körper kann hart und elastisch sein, wie dies z. B. beim Elfenbein, beim Stahl u. s. w. der Fall ist; das Glas dagegen ist hart und wenig elastisch.

Ein fester Körper, dessen Theilchen schon durch eine geringe Kraft verschoben werden können, wird weich genannt. Auch die weichen Körper können entweder sehr elastisch sein, wie z. B. Federharz (Kautschuk, gummi elasticum), oder nur

einen sehr geringen Grad von Elasticität besitzen, wie dies z. B. bei dem feuchten Thon der Fall ist, den man als bildsam (plastisch) bezeichnet. Die Zusammenhangsform solcher weichen, mehr oder weniger breiartigen Stoffe ist ein Mittelzustand zwischen dem vollkommen festen und dem vollkommen flüssigen.

Wenn die Theilchen eines festen Körpers über eine gewisse Gränze hinaus verschoben werden, so ordnen sie sich entweder zu einer neuen festen Gleichgewichtslage oder der Zusammenhang hört ganz auf. Im ersten Fall nennt man die Körper dehnbar, im letzteren aber spröde.

Die äußere Gestalt spröder Körper läßt sich durch äußere Kräfte, etwa durch Stoß, durch Druck u. s. w., nicht bleibend ändern, sie brechen; die Gestalt dehnbarer Stoffe dagegen läßt sich durch mechanische Mittel bleibend ändern, wie dies z. B. das Drahtziehen und das Prägen der Münzen beweist.

Die Wucht. Der Druck, welchen eine auf die Hand gelegte ungefähr 38
25 Gramm schwere Bleikugel ausübt, ist höchst unbedeutend; wenn aber dieselbe Kugel von einem etwa 135 Fuß (135′ sehr nahe gleich $44^1/_{10}$ Meter) hohen Thurme herabfallend den unbedeckten Kopf eines Vorübergehenden trifft, so kann sie ihm den Hirnschädel einschlagen.

Legt man eine solche Bleikugel auf ein Brett, so bringt sie durchaus keinen merklichen Eindruck hervor, schießt man sie aber aus einer Büchse gegen dasselbe, so durchbohrt sie es.

Man setze die Spitze eines eisernen Nagels auf ein horizontales Brett und dann auf den Kopf des Nagels einen etwa $^1/_2$ Pfund schweren Hammer, so wird das Gewicht des Hammers nicht im Stande sein, den Nagel merklich in das Holz einzutreiben, was sogleich erfolgt, wenn man mit demselben Hammer einen kräftigen Schlag gegen den Kopf des Nagels führt.

Mit einem tüchtigen Axthieb kann man einen Holzklotz spalten, während dieselbe Axt, mit der Schneide langsam auf das Holz aufgesetzt, nicht einmal einen Eindruck zurückläßt.

Dieser Unterschied der mechanischen Wirkungen eines ruhenden und eines bewegten Körpers erklärt sich aus folgenden Betrachtungen.

Wenn auf einen ruhenden Körper eine beschleunigende Kraft wirkt, so kann sie nur dann eine Bewegung hervorbringen, wenn der hierbei zu überwindende Widerstand kleiner ist, als die Kraft selbst.

Legen wir eine 25 Gramm schwere Kugel von Blei oder Eisen auf ein horizontales Brett, so bringt sie nicht den mindesten Eindruck hervor, weil ein Druck von 25 Gramm nicht genügt, um den Widerstand des Holzes zu überwinden; die Kugel bleibt ruhig, sie bringt gar keine mechanische Arbeit hervor.

Wenn aber einmal die Kugel in Bewegung ist, so kann sie nur durch Ueberwindung von Widerständen zur Ruhe gebracht werden, die bewegte Kugel muß also nothwendig einen Theil der ihrer Bewegung entgegenstehenden Widerstände überwinden, sie muß eine mechanische Arbeit verrichten, welche um so größer sein wird, als ihre Masse und ihre Geschwindigkeit größer ist.

Ein in rascher Bewegung befindlicher Körper ist also gleichsam ein Kraftmagazin, welches eine gewisse mechanische Arbeit verrichtet, während die bewegte

Masse allmälig zur Ruhe gelangt. Der bewegte Körper besitzt also eine gewisse **Wirkungsfähigkeit**, welche man gewöhnlich mit dem nicht ganz passenden Namen der **lebendigen Kraft** bezeichnet, und welche man besser seine **Wucht** nennen könnte.

Suchen wir nun ein Maaß für die Wucht eines Körpers zu erhalten.

Wenn ein Körper 135 Fuß ($44^4/_{10}$ Meter) hoch herunter gefallen ist, so hat er (S. 45) eine Geschwindigkeit von 90 Fuß ($29^4/_{10}$ Meter) erlangt, und wenn er mit einer Geschwindigkeit von 90 Fuß oder $29^4/_{10}$ Meter vertical in die Höhe geschossen wird, so wird er (S. 46), der Schwere entgegen, 135 Fuß oder $44^1/_{10}$ Meter hoch steigen, ehe er wieder zu fallen beginnt. Hätten wir also mit einer 25 Gramm ($^{25}/_{1000}$ Kilogramm) schweren Kugel zu thun, welche mit der Geschwindigkeit von $29^4/_{10}$ Meter vertical in die Höhe geschossen $44^1/_{10}$ Meter hoch steigt, so verrichtet sie also während ihres Steigens noch eine mechanische Arbeit von

$$44^1/_{10} \times \frac{25}{1000} = 1^1/_{10} \text{ Meterkilogramm.}$$

Die **Wucht** einer 25 Gramm schweren Kugel, welcher man irgendwie eine Geschwindigkeit von $29^4/_{10}$ Meter ertheilt hat, beträgt also $1^1/_{10}$ Meterkilogramm, d. h. um wieder zur Ruhe zu kommen, muß sie erst eine mechanische Arbeit von $1^1/_{10}$ Meterkilogramm verrichten, also eine Arbeit, welche gleich ist der Hebung einer Last von 1 Kilogramm auf die Höhe von $1^1/_{10}$ Meter.

Bei **gleicher Geschwindigkeit** steht die Wucht (lebendige Kraft, Wirkungsfähigkeit) verschiedener Körper in gleichem Verhältniß, wie ihre Masse; bei doppelter, dreifacher, zehnfacher Masse wird unter sonst gleichen Umständen auch die Wucht der Körper 2 mal, 3 mal, 10 mal größer sein. Bei gleicher Geschwindigkeit ist die Wucht einer Kanonenkugel größer als die eines Gummiballes.

Bei **gleicher Masse** wächst die Wucht eines Körpers mit seiner Geschwindigkeit und zwar in einem Verhältniß, welches hier nicht näher besprochen werden kann. Eine Bleikugel, die aus einer Büchse geschossen wird, hat eine ungleich größere Wucht, als wenn man dieselbe Kugel mit der Hand wirft.

39 **Der Stoss.** Wenn ein in Bewegung befindlicher Körper auf seiner Bahn einen anderen trifft, den wir der Einfachheit wegen als ruhend betrachten wollen, so erfolgt ein **Stoß**, dessen Wirkungen wir nun zu betrachten haben.

Durch den Stoß kann entweder der getroffene Körper gleichfalls in Bewegung gesetzt werden, wie z. B. wenn man einen Fauststein mit mäßiger Geschwindigkeit gegen eine an einem Seil aufgehängte Kegelkugel wirft, oder die lebendige Kraft (Wucht) des stoßenden Körpers kann dazu verwendet werden, den Widerstand zu überwinden, welchen die unmittelbar auf einander treffenden Theilchen einer gegenseitigen Verschiebung oder Trennung derselben entgegensetzen. So wird z. B. eine Bleikugel platt gedrückt, welche man aus dem obersten Stockwerk eines Hauses auf das Steinpflaster fallen läßt; eine gegen ein Brett geschossene Büchsenkugel schlägt ein Loch durch dasselbe; der kräftige Schlag eines schweren Hammers, welchen der Steinklopfer gegen einen auf geeigneter Unterlage liegenden Stein führt, zertrümmert denselben u. s. w.

Die erstere der genannten Wirkungen tritt vorzugsweise dann ein, wenn die Geschwindigkeit des stoßenden Körpers gering und der getroffene Körper bei verhältnißmäßig unbedeutender Masse frei beweglich ist; die letztere dagegen, wenn der stoßende Körper mit großer Geschwindigkeit auf eine große Masse oder auf einen unbeweglich befestigten Körper trifft.

Es bedarf nur eines schwachen Druckes mit dem Finger, um eine geöffnete Stubenthür langsam um ihre Angeln zu drehen, während eine gegen dieselbe geschossene Büchsenkugel dieselbe durchlöchert, ohne eine merkliche Drehung derselben zu bewirken.

Der im ersten Falle angewendete Druck reicht nicht hin, auch nur einen ganz geringen Eindruck in die Masse des Holzes hervorzubringen, während er vollkommen genügt, um den geringen Trägheitswiderstand zu überwinden, welcher einer langsamen Drehung der bis dahin ruhenden Thür entgegen wirkt. Im zweiten Falle dagegen ist der Widerstand, welchen das Holz dem Eindringen der Kugel entgegensetzt, kleiner als der Widerstand, welcher überwunden werden müßte, um der ruhenden Thür eine entsprechend rasche Drehung mitzutheilen.

Wir wenden den Stoß an, wenn es sich darum handelt, einen bedeutenden Widerstand auf einem sehr kleinen Wege zu überwinden, wie z. B. beim Einschlagen eines Nagels in ein Brett, beim Einrammen eines Pfahles in den Boden u. s. w., oder wenn eine Zerschmetterung, eine Körpertheilung hervorgebracht werden soll, wie es z. B. vorkommt, wenn eine Kanonenkugel gegen eine Mauer anprallt, oder wenn mittelst eines Hammers ein Stein zerklopft werden soll.

Die Wirkung des Degens und des Säbels beruhen auf dem Stoße. Der Stoß wird überall nützlich angewendet, wo es sich um Formveränderung (z. B. beim Prägen der Münzen), oder um Zertheilung und Zerstörung handelt.

Da der Stoß immer mehr oder weniger zerstörend wirkt, so muß er überall vermieden werden, wo es sich um die Uebertragung der Bewegung eines Körpers auf einen anderen handelt.

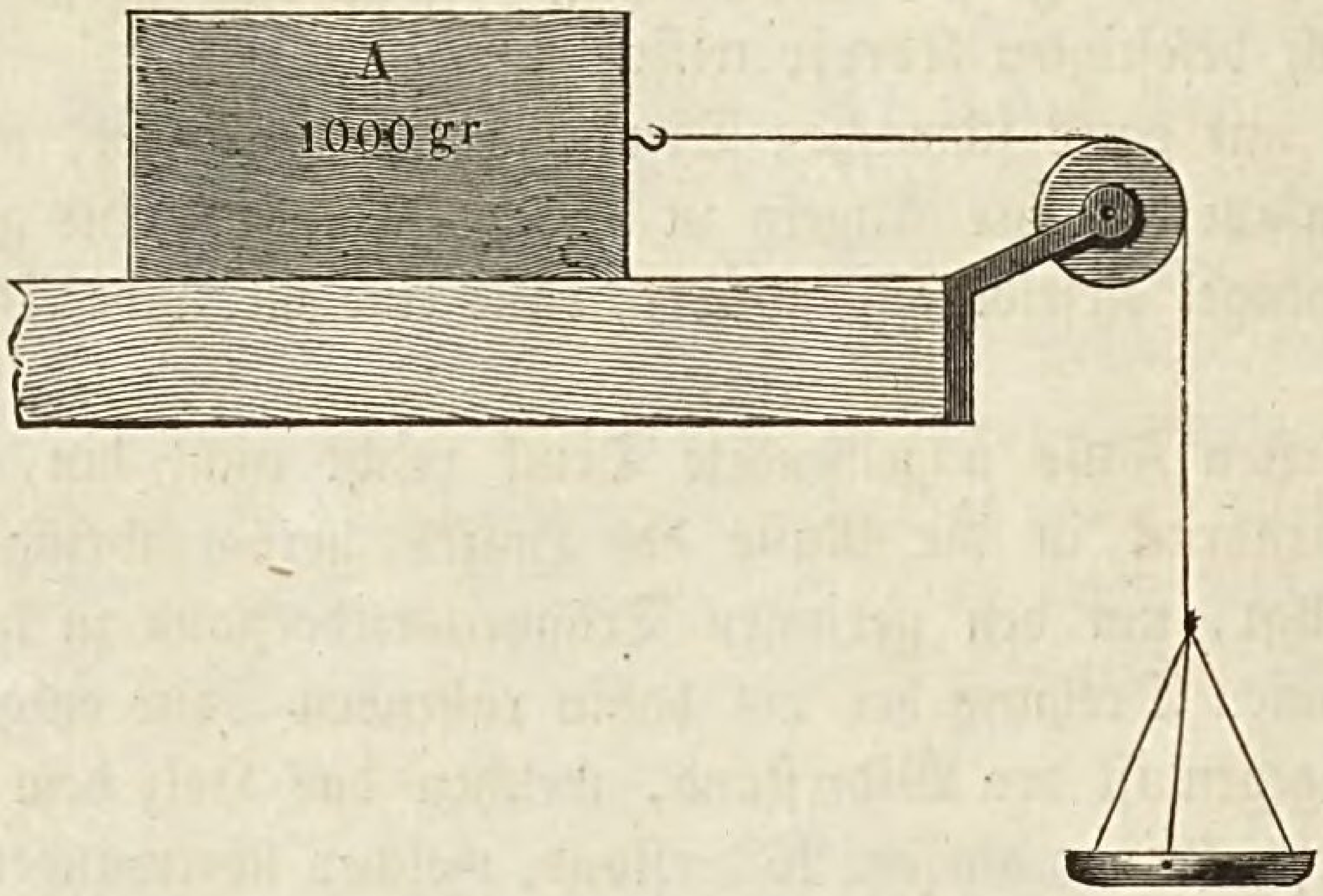
Gleitende Reibung. Wir haben in §. 23 gesehen, daß wenn ein schwerer 40
Körper an einem langen Seile aufgehängt ist, die geringste Kraft hinreicht, um ihn in horizontaler Richtung auf die Seite zu schieben, daß also die Schwere der Bewegung des Körpers in horizontaler Richtung keinen Widerstand entgegen setzt.

Legt man aber auf ein möglichst glatt gehobeltes, genau wagerecht gestelltes Tischblatt einen Klotz A, Fig. 67 (a. f. S.), so bedarf es doch einer namhaften Zugkraft, um ihn in horizontaler Richtung in Bewegung zu setzen, wie man sich überzeugen kann, wenn man an dem Klotz eine Schnur befestigt, welche über eine Rolle geschlungen eine Wagschale trägt.

Der hölzerne Klotz A, dessen untere Fläche gleichfalls glatt gehobelt ist, wiege z. B. 1000 Gramm, die Wagschale wiege 50 Gramm, so wird man noch ungefähr 450 Gramm auf die Wagschale legen müssen, um den Klotz in horizontaler Richtung in Bewegung zu setzen. Es ist also eine Zugkraft von 500 Grammen nöthig, um den 1000 Gramm schweren Klotz in horizontaler Richtung über die Tischfläche wegzuziehen.

Betrüge das Gewicht des Holzklotzes 6, 8, 10 Pfund, so hätte man eine Zugkraft von 3, 4, 5 Pfund nöthig, um den Klotz über die horizontale Tischfläche

Fig. 67.



wegzuziehen, kurz unter den erwähnten Umständen müßte die Zugkraft ungefähr halb so groß sein wie das Gewicht des Klotzes, um ihn auf seiner horizontalen Unterlage in Bewegung zu setzen.

Der Widerstand, welcher hier überwunden werden muß, um den Klotz *A* in horizontaler Richtung über seine Unterlage wegzuschleifen, ist die Reibung, welche zwischen den über einander hergleitenden Flächen stattfindet. In dem eben betrachteten Falle ist die zur Ueberwindung der Reibung nöthige Zugkraft die Hälfte, oder was dasselbe ist, 50 Procent der Last.

Wäre die horizontale Unterlage eine vollkommen ebene, glatte Eisenplatte und auch die untere Fläche des Klotzes mit einer solchen beschlagen, so hätte man nur eine Zugkraft von 300 Gramm nöthig, um einen 1000 Gramm schweren Klotz in Bewegung zu setzen, die zur Ueberwindung der Reibung nöthige Zugkraft ist in diesem Falle also nur 30 Procent von der fortzuschleifenden Last.

Die Zahl, welche angiebt, dem wievielsten Theile der Last die zur Ueberwindung der Reibung nöthige Kraft gleich ist, wird der Reibungscoëfficient genannt. In diesem Sinne ist der Reibungscoefficient für

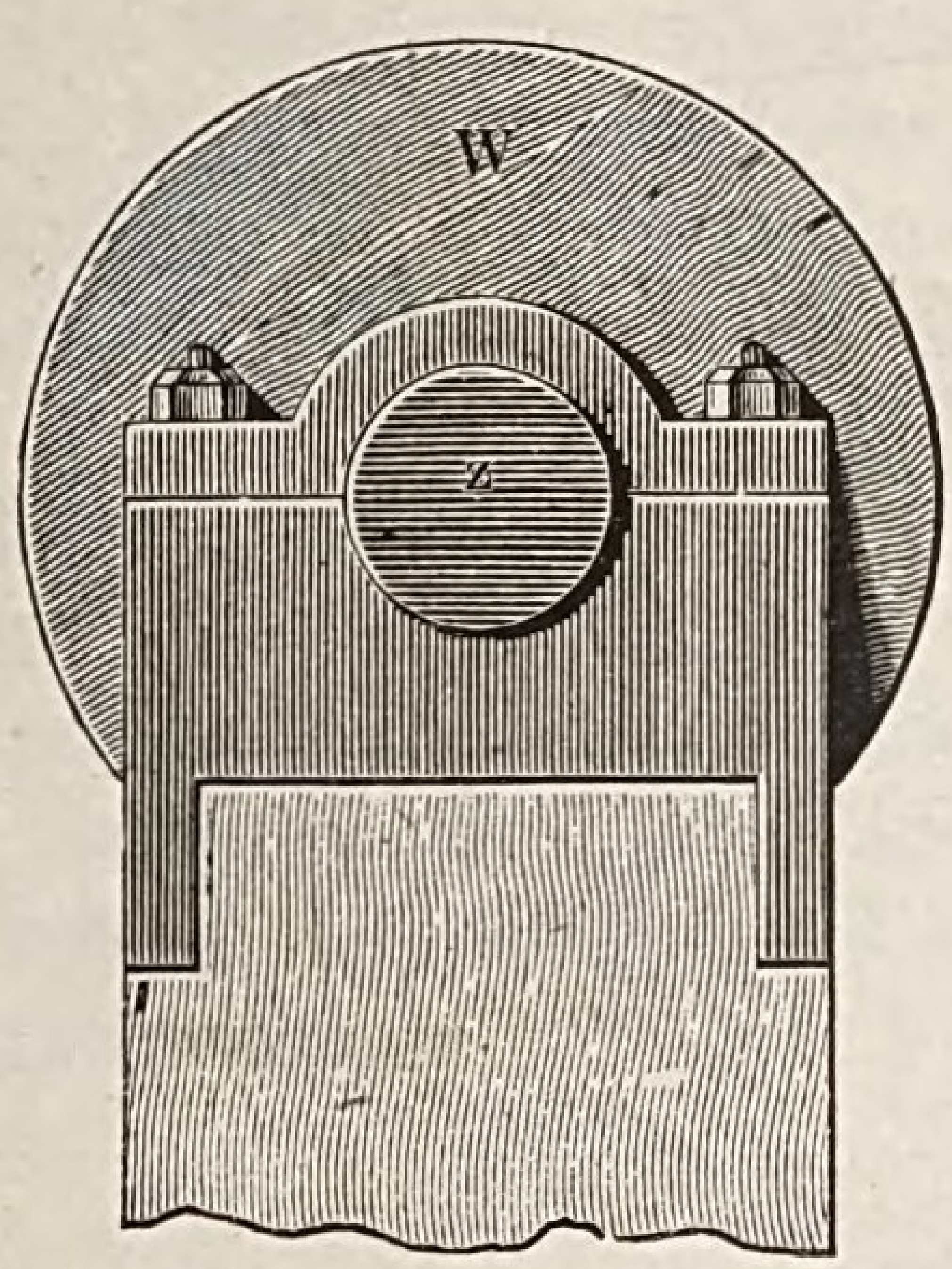
Tannenholz auf Tannenholz . . . . 50 Procent
Eisen auf Eisen . . . . 30 „
Eisen auf Messing . . . . 26 „

Wenn irgend ein schwerer Körper um eine feste Axe gedreht wird, welche auf einem passenden Zapfenlager aufliegt, wie dies z. B. bei der in Fig. 68 dargestellten Vorrichtung der Fall ist, so ist bei der Umdrehung des Körpers um seine Axe gleichfalls gleitende Reibung zu überwinden. Der Wellbaum *W* ist auf jeder Seite mit einem eisernen Zapfen *z* versehen, von welchem unsere Figur nur den vorderen zeigt. Jeder der Zapfen paßt in ein messingenes Zapfenlager, in welchem er frei gedreht werden kann. Diese Drehung kann aber nicht ausgeführt werden, ohne daß eine entsprechende Reibung überwunden wird.

Nehmen wir z. B. an, daß der Druck, welchen die Zapfenlager durch das Gewicht des Wellbaumes und der angehängten Last auszuhalten haben, 100 Kilogramm

betrage, so beträgt der zu überwindende Reibungswiderstand $100 \times \frac{26}{100} = 26$ Kilogramm. Wenn nun ferner der Umfang des Zapfens *z* 20 Centimeter $\left(\frac{2}{10}\right.$ Meter$\left.\right)$ beträgt, so muß bei jeder Umdrehung der Reibungswiderstand von 26 Kilogrammen auf einer Wegstrecke von $\frac{2}{10}$ Metern überwunden, also eine Arbeit von $26 \times \frac{2}{10} = \frac{56}{10}$ oder $5\frac{6}{10}$ Meterkilogramm geleistet werden, welche für den Nutzeffect verloren geht. In gleicher Weise wird bei allen Maschinen zur Ueberwindung der unvermeidlichen Reibung ein namhafter Theil der Arbeitskraft in Anspruch genommen.

Fig. 68.



Durch passende Schmiere kann die Reibung vermindert werden. Für Metalle sind fette Oele, für Holz ist Talg das beste Schmiermittel.

Wälzende Reibung. Bei der eben betrachteten Reibung gleitet derselbe Punkt des bewegten Körpers der Reihe nach über verschiedene Punkte der Unterlage hin, wenn aber ein runder Körper über seine Unterlage hin rollt, so kommen stets neue Punkte des rollenden Körpers mit neuen Punkten der Unterlage in Berührung, wie man dies am leichtesten an einer über ihre Bahn rollenden Kegelkugel sehen kann. 41

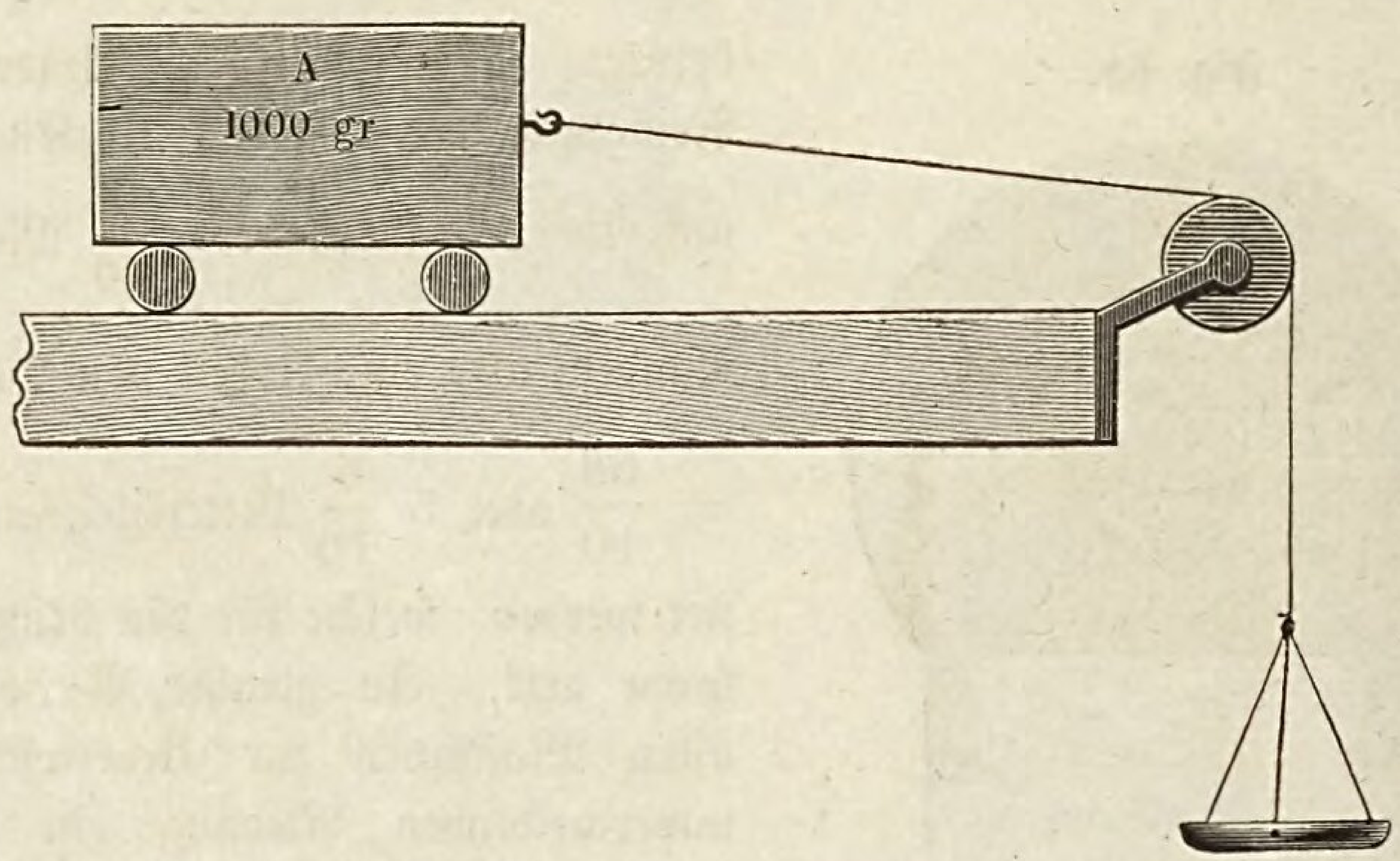
In gleicher Weise, wie eine Kugel, kann auch eine Walze (Cylinder) über ihre Unterlage rollen. Auch beim Rollen ist ein Widerstand zu überwinden, den man als wälzende Reibung bezeichnet. Die wälzende Reibung ist bedeutend geringer als die gleitende.

Man lege den Klotz *A*, dessen man sich zu dem Versuch Fig. 67 bedient hat, auf zwei walzenförmige Stäbchen von Holz oder Metall oder von Glas (auch Röhren kann man zu diesem Zweck gebrauchen), wie man Fig. 69 (a. f. S.) sieht, so reicht schon ein ganz geringes Gewicht, etwa das Gewicht einer nur 50 Gramm schweren Wagschale hin, den Klotz in Bewegung zu setzen. — Bestimmte Zahlen lassen sich für die wälzende Reibung nicht angeben, weil ihre Größe auch von dem Durchmesser des rollenden Körpers abhängt. Je größer dieser Durchmesser, desto kleiner die wälzende Reibung.

Wo es möglich ist, sucht man es so einzurichten, daß möglichst wenig gleitende und mehr wälzende Reibung zu überwinden ist, wie dies z. B. bei unseren Wagenrädern der Fall ist. Am Umfang der Wagenräder ist wälzende Reibung zu überwinden, während die gleitende Reibung nur an den Axen auftritt. Während der Wagen um den ganzen Umfang eines Rades fortgezogen wird, ist

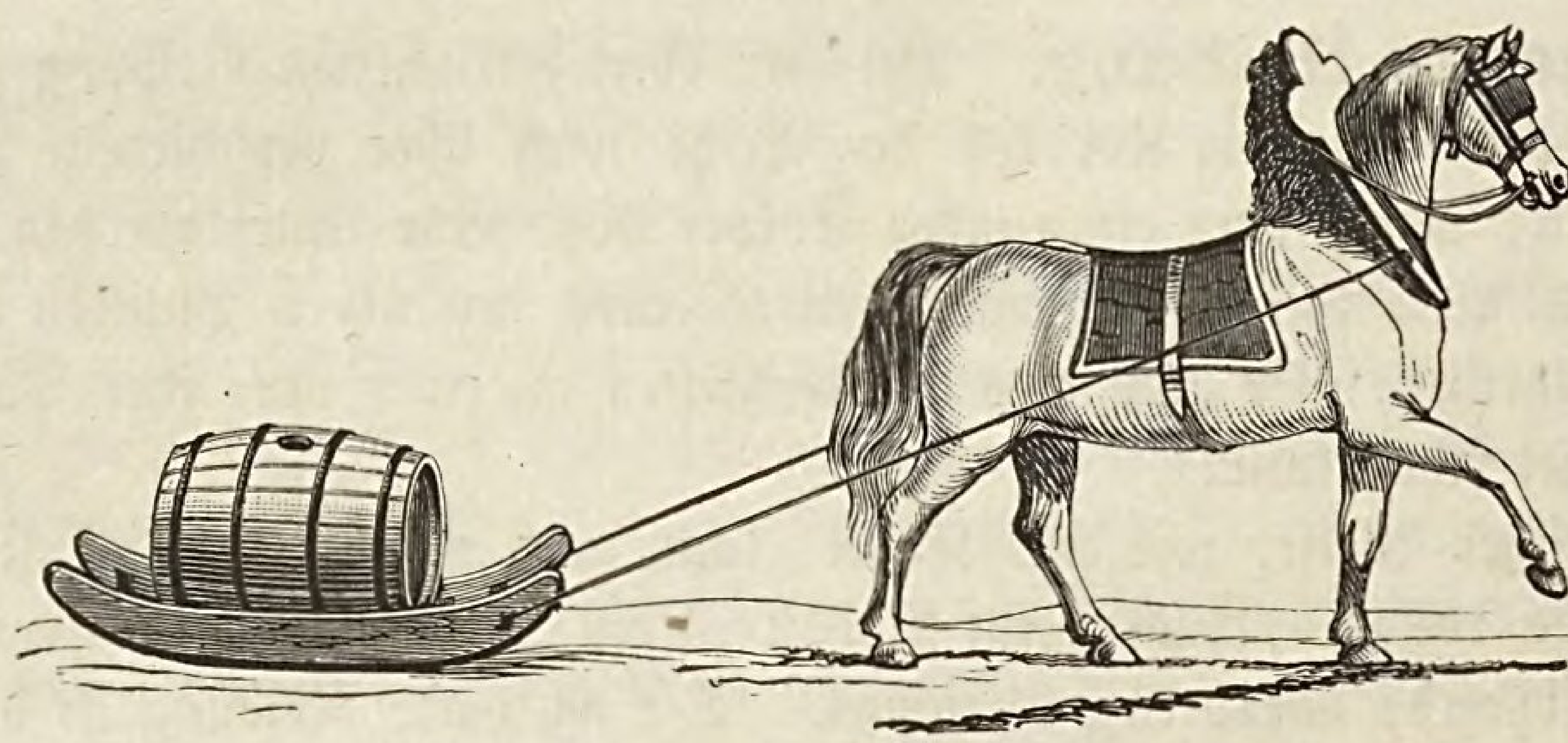
die gleitende Reibung an der Axe nur auf eine dem Umfang der Axe gleiche Wegstrecke zu überwinden.

Fig. 69.



Es ist eine bedeutend größere Kraft anzuwenden, um eine auf einer Schleife, Fig. 70, liegende Last auf einer wagerechten Chaussee fortzuziehen, als wenn die-

Fig. 70.



selbe Last auf einem Wagen liegt. Um einen geladenen Wagen auf einer gut unterhaltenen horizontalen Landstraße fortzuziehen, bedarf man einer Zugkraft, welche 5 bis 7 Procent der Last beträgt.

42 **Nutzen der Reibung.** Wir haben bisher die Reibung nur als ein störendes Bewegungshinderniß kennen gelernt, welches einen Theil der bewegenden Kraft für unsere Zwecke nutzlos verzehrt, also nachtheilig wirkt; der Nutzen aber, welchen uns die Reibung gewährt, ist bei weitem größer als jene Nachtheile. Ohne Reibung könnten wir weder gehen noch stehen, wir würden noch weit übler daran sein, als wenn wir uns auf einer mit Glatteis überzogenen Straße befänden, wo die Reibung zwischen den Fußsohlen und dem Boden nur stark vermindert, aber keineswegs ganz aufgehoben ist.

Ohne Reibung könnten wir nichts in den Händen halten, es würde uns alles entgleiten, wie ein Eiszapfen mit schmelzender Oberfläche. Ohne Reibung würde kein Nagel in der Wand halten.

Nur die Reibung gewährt den Hufen der Pferde den Stützpunkt, dessen sie bedürfen, um den geladenen Wagen nachzuziehen; ohne Reibung würden sie trotz der größten Anstrengung ausglitschen und stürzen.

Wir bedienen uns der Reibung, um mittelst eines Seiles oder eines Riemens die Umdrehung einer Axe auf eine andere zu übertragen, wie dies z. B. an jeder Drehbank gezeigt werden kann und wie es durch Fig. 71 erläutert wird.

Gleichförmige Fortpflanzung des Drucks durch Flüssigkeiten. 43 Bereits in §. 1 haben wir gesehen, daß die Theilchen tropfbar flüssiger Körper bei unveränderlicher gegenseitiger Entfernung doch sehr leicht gegen einander verschoben werden können. Aus dieser leichten Verschiebbarkeit der Theilchen folgt aber zunächst, daß sie jeden Druck gleichförmig nach allen Seiten hin fortpflanzen.

Fig. 71.

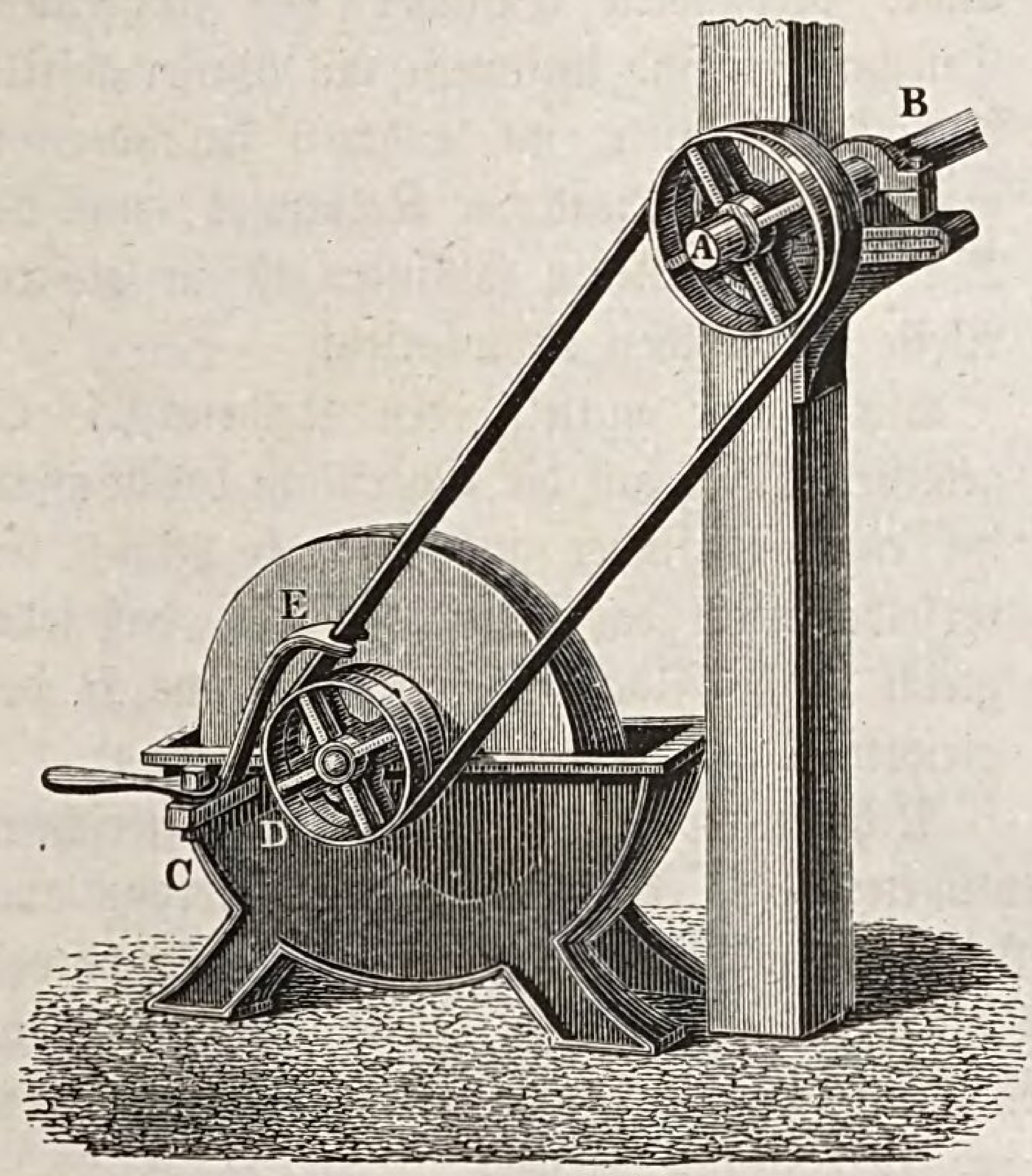
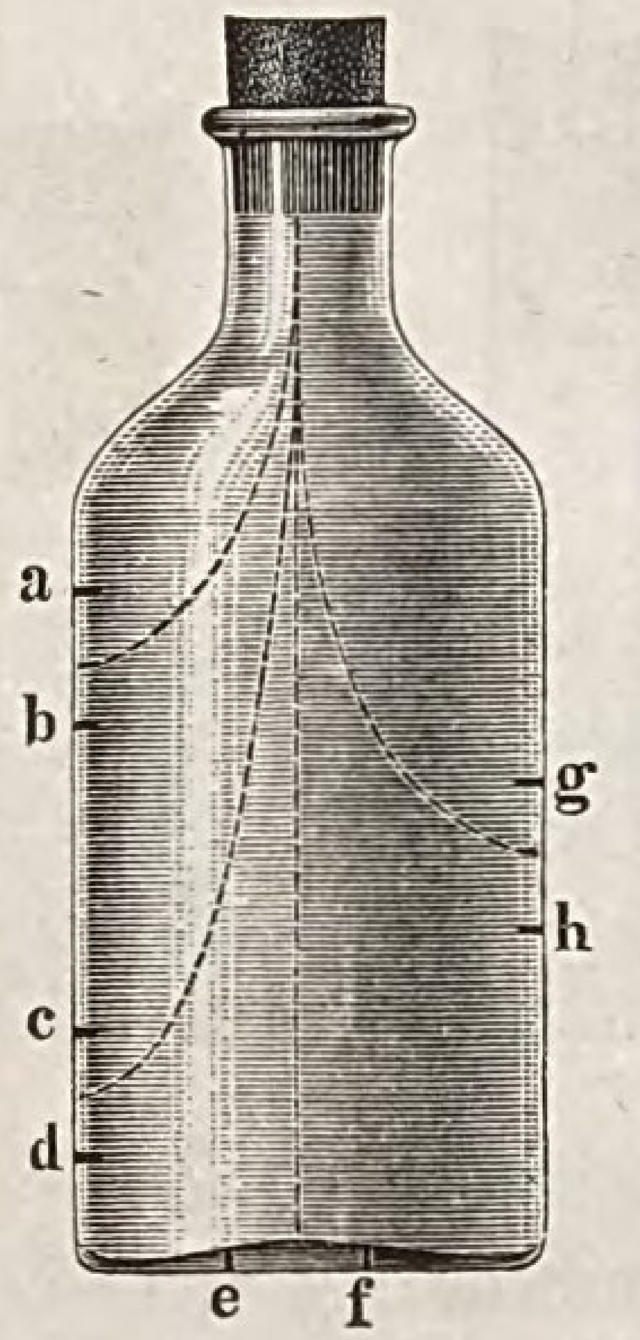


Fig. 72.



Taucht man die Hand in das Wasser eines Waschbeckens, so weicht die Flüssigkeit nach allen Seiten der eindringenden Hand aus; wo aber dieses Ausweichen verhindert ist, kann kein Eindringen eines fremden Körpers in den vom Wasser erfüllten Raum stattfinden.

Eine möglichst dünnwandige Flasche, etwa ein etwas großes Arzneiglas, Fig. 72, werde ganz mit Wasser gefüllt und dann in den Hals der Flasche ein wohlschließender Kork eingesteckt, so daß der Kork ohne Dazwischenkunft einer Luftschicht auf dem Wasser aufsitzt. Durch einen mäßigen Druck kann man nun den Kork durchaus nicht weiter in den Hals hinabtreiben, weil das Wasser durch

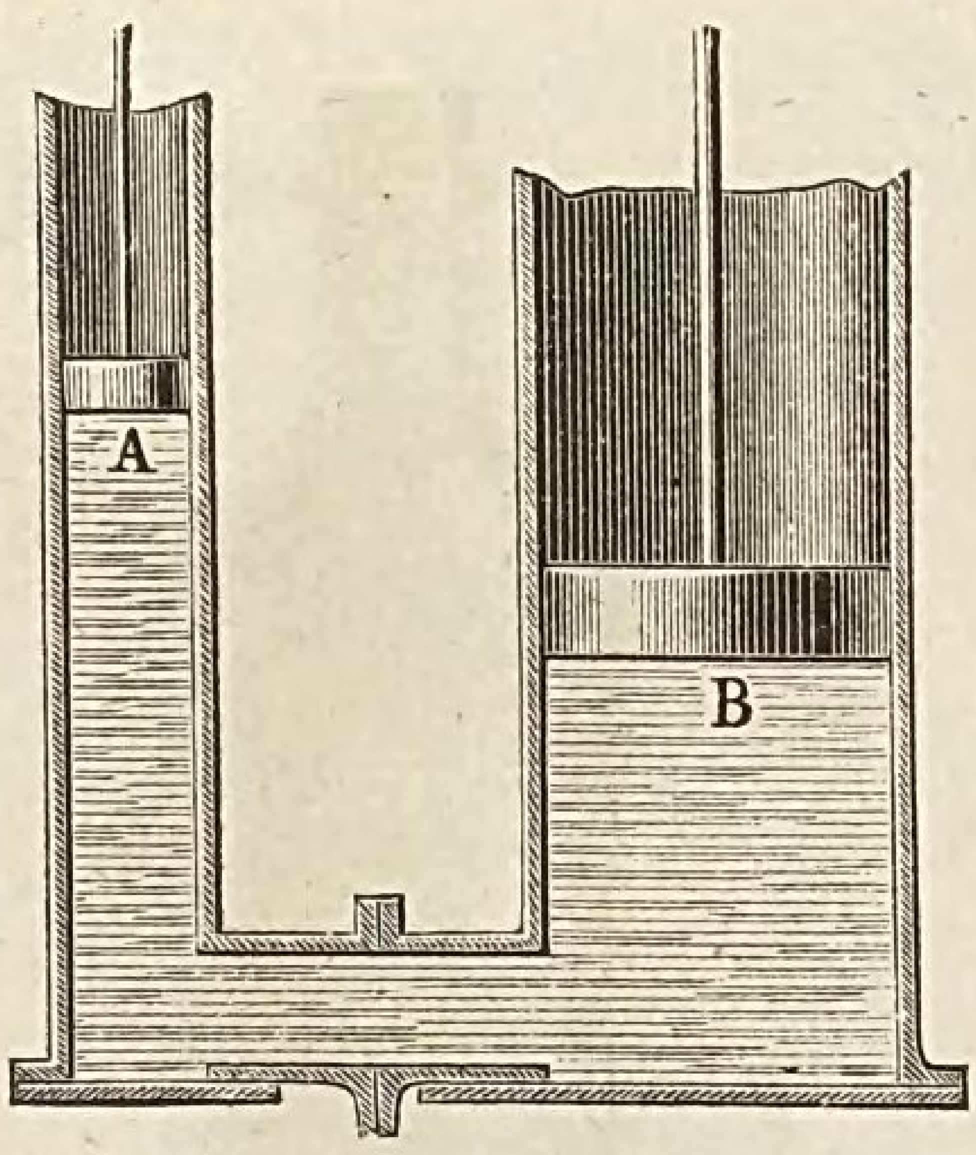
die Flaschenwände verhindert wird, seitwärts auszuweichen. Der Druck aber, welcher gegen den Kork wirkt, pflanzt sich gleichförmig durch das Wasser nach allen Seiten hin fort. Würde der Kork mit einer Kraft von 10 Pfund eingedrückt, so würde sich dieser Druck in der Weise fortpflanzen, daß jedes Stück der Flaschenwand, welches eben so groß ist, wie der Querschnitt des Kolbens, also z. B. *ab*, *cd*, *ef*, *gh*, gleichfalls einen Druck von 10 Pfund auszuhalten haben.

Wird der Druck zu stark, so wird die Glaswand zertrümmert. Man halte den Hals der Flasche mit der linken Hand fest, und führe dann mit einem Hammer einen kräftigen Schlag gegen den Kork, so wird die Flasche zersprengt und zwar zeigt sich der ganze Umfang der Flaschenwand durch zahlreiche Risse zertheilt, ein Beweis, daß sich der von dem Kork ausgehende Druck gleichförmig nach allen Seiten hin fortgepflanzt hat.

Der Boden der Flasche wird bei diesem Vorgang meistens nicht zerrissen, weil er stärker im Glase ist.

Die gleichförmige Fortpflanzung des Druckes durch Flüssigkeiten erklärt auch die Wirkung der hydraulischen Presse, zu deren Erklärung Fig. 73, dienen mag. Zwei senkrecht stehende, unten mit einander verbundene Cylinder von ungleichem Durchmesser sind theilweise mit Wasser gefüllt. Auf das Wasser im engeren Cylinder ist wasserdicht schließend der Kolben *A*, auf das Wasser im weiteren Cylinder ist in gleicher Weise der Kolben *B* aufgesetzt.

Fig. 73.



Wird nun mittelst des Kolbens *A* ein gewisser Druck auf die Oberfläche des Wassers im engen Cylinder ausgeübt, so pflanzt sich derselbe durch das Wasser so fort, daß jedes gleich große Flächenstück des Kolbens *B* den gleichen Druck auszuhalten hat.

Nehmen wir z. B. an, der Querschnitt des Kolbens *A* sei 1 Quadratcentimeter, der des Kolbens *B* betrage aber 10 Quadratcentimeter, so ist der Gesammtdruck, der gegen die untere Fläche von *B* nach oben wirkt, 10 mal so groß als der Druck, welchen der Kolben *A* auf das Wasser ausübt. Wird *A*, mit einer Kraft von 12 Pfund niedergedrückt, so wird *B* mit einer Kraft von $10 \times 12 = 120$ Pfund gehoben.

Aber auch hier gilt der Grundsatz, daß einerseits an Geschwindigkeit verloren geht, was andererseits an Kraft gewonnen wird. Wenn man den Kolben *A* 10 Centimeter weit niederdrückt, so wird dadurch der Kolben *B* um 1 Centimeter gehoben.

Wäre der Querschnitt des Kolbens *B* 100 mal so groß als der von *A*, so würde der Gesammtdruck, welcher gegen die untere Fläche von *B* wirkt, 100 mal so groß sein als der Druck, welchen *A* auf das Wasser ausübt.

Fig. 73 dient zwar, die Wirkungsweise der hydraulischen Presse, nicht aber ihre Construction zu erläutern, auf welche hier nicht weiter eingegangen werden kann.

Wenn sich irgend Gelegenheit bietet, eine hydraulische Presse in Augenschein zu nehmen, so versäume man nicht, davon Gebrauch zu machen.

Die Schwere der Flüssigkeiten. Vermöge ihrer Schwere üben 44
die Flüssigkeiten auf den Boden der Gefäße, in denen sie enthalten sind einen Druck aus.

Fig. 74.

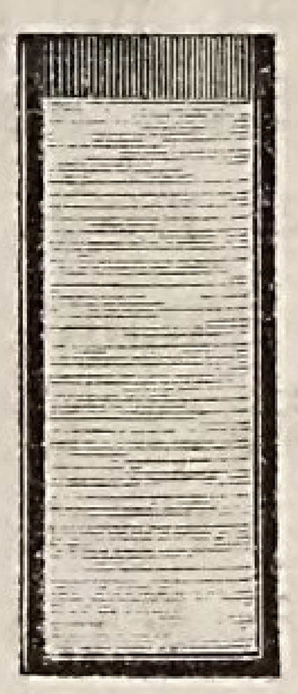


Fig. 75.

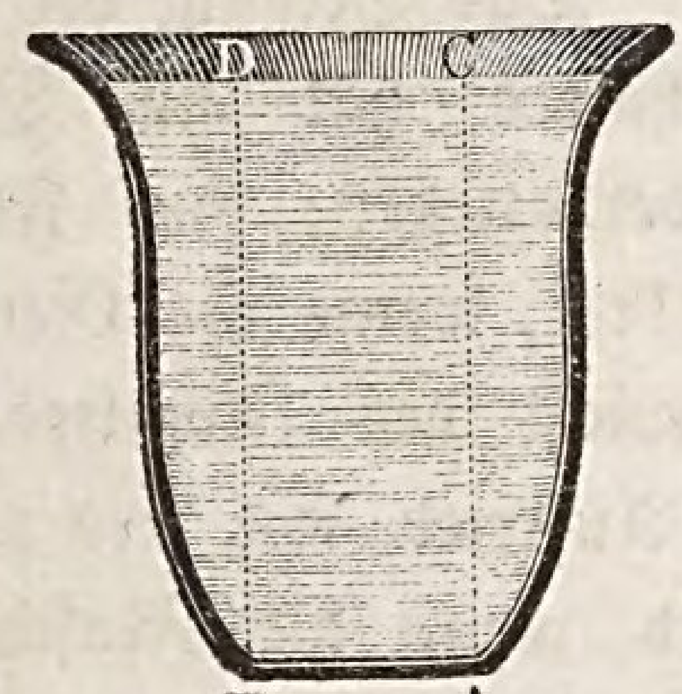


Fig. 76.



In einem geraden cylindrischen Gefäße, Fig. 74, hat der Boden gerade das Gewicht der auf ihm lastenden Flüssigkeitssäule zu tragen.

Genau eben so groß ist aber auch der Druck, welchen der Boden des oben erweiterten Gefäßes, Fig. 75, und des oben verengten Gefäßes, Fig. 76, auszuhalten hat, wenn der Boden dieser Gefäße gleich ist dem des Gefäßes Fig. 74, und alle drei Gefäße bis zu gleicher Höhe mit der gleichen Flüssigkeit gefüllt sind.

In irgend einem Gefäße liege der Wasserspiegel 12 Centimeter hoch über dem Boden, so hat jedes Quadratcentimeter der Bodenfläche das Gewicht einer Wassersäule zu tragen, deren Grundfläche (Basis) 1 Quadratcentimeter und deren Höhe 12 Centimeter beträgt. Der Rauminhalt dieser Wassersäule beträgt 12 Kubikcentimeter, ihr Gewicht ist also 12 Gramm.

Wäre der Flächeninhalt des Bodens 25 Quadratcentimeter, so wäre der Gesammtdruck, welchen der Boden auszuhalten hat, $12 \times 25 = 300$ Gramm.

Soviel Centimeter der Boden unter dem Wasserspiegel liegt, so viel Gramm beträgt der Druck, welcher auf jedem Quadratcentimeter der Bodenfläche lastet.

Aber nicht allein der Boden, sondern in Folge der gleichförmigen Fortpflanzung des Druckes haben auch die Seitenwände eines mit Wasser gefüllten Gefäßes einen Druck auszuhalten und zwar ist die Zahl, welche angiebt, wie viel Centimeter ein Punkt der Seitenwand unter dem Wasserspiegel liegt, gleich dem nach Grammen gemessenen Wasserdruck, welchen 1 Quadratcentimeter der Wandfläche an dieser Stelle auszuhalten hat.

Daraus geht nun hervor, daß der Druck, welchen die Seitenwände eines Gefäßes auszuhalten haben, von oben nach unten zunimmt. Irgend ein ungefähr 1 Meter tiefes Gefäß sei z. B. mit Wasser gefüllt, so wird in einer Tiefe von 8 Centimeter unter dem Wasserspiegel der Druck gegen jedes Quadratcentimeter der Seitenfläche 8 Gramm, in einer Tiefe von 32 Centimeter wird er 32 Gramm, in einer Tiefe von 96 Centimeter wird er 96 Gramm betragen.

Der Auftrieb. In irgend ein mit Wasser gefülltes Gefäß, Fig. 77, 45
tauche man mit der Hand ein etwas großes, recht dünnwandiges Arzneiglas *A* ein, welches nur Luft enthaltend mit einem Korkstopfen geschlossen ist, so wird die Hand deutlich den Druck emfinden, welcher die Flasche in die Höhe zu treiben

strebt. Dieser gegen die untere Fläche der Flasche nach oben wirkende Druck wird der **Auftrieb** genannt. Er rührt von der die Flasche umgebenden Wassermasse her, welche von unten her in den von der Flasche eingenommenen Raum eindringen würde, wenn es der Boden nicht hinderte.

Fig. 77.



Der Auftrieb strebt also, die Flasche in die Höhe zu treiben.

Das Gewicht der Flasche und ihres Inhaltes hat ein Bestreben, dieselbe niederzuziehen; die Flasche wird also **sinken**, wenn ihr Gewicht sammt dem Gewicht des Inhaltes **größer** ist als der Auftrieb, wie dies z. B. der Fall sein wird, wenn die Flasche mit Sand gefüllt ist.

Die Flasche wird **in die Höhe** getrieben, sie wird, sich selbst überlassen, **schwimmen**, wenn der Auftrieb der untergetauchten Flasche **größer** ist als ihr Gewicht.

Wäre der ganze Raum, den jetzt die Flasche Fig. 77 einnimmt, mit **Wasser** angefüllt, so würde diese Wassermasse weder steigen noch sinken; der Auftrieb ist also gerade gleich dem Gewichte der Wassermasse, welche den gleichen Raum wie die Flasche *A* einnimmt.

Daraus folgt, daß durch den Auftrieb eines in Wasser untergetauchten Körpers ein Gewicht getragen wird, welches dem Gewichte der verdrängten Wassermasse gleich ist, oder mit anderen Worten, daß ein in Wasser untergetauchter Körper **soviel an Gewicht verliert, als die von ihm verdrängte Wassermasse wiegt.**

Um sich von der Richtigkeit dieses höchst wichtigen Satzes zu überzeugen, muß man an der gewöhnlichen Wage eine kleine Aenderung anbringen, es muß nämlich in der Mitte der einen Wagschale unten ein kleiner Haken angebracht sein, wie man dies in Fig. 78 sieht*). An diesen Haken hänge man mittelst einer feinen Schnur einen festen Körper von **regelmäßiger** Gestalt, dessen Rauminhalt man leicht berechnen kann, z. B. einen Langwürfel, welcher 6 Centimeter lang, 2 Centimeter hoch und 2 Centimeter dick ist. Der Rauminhalt dieses Langwürfels beträgt $6 \times 2 \times 2 = 24$ Kubikcentimeter; ein gleiches Volumen Wasser wiegt also 24 Gramm.

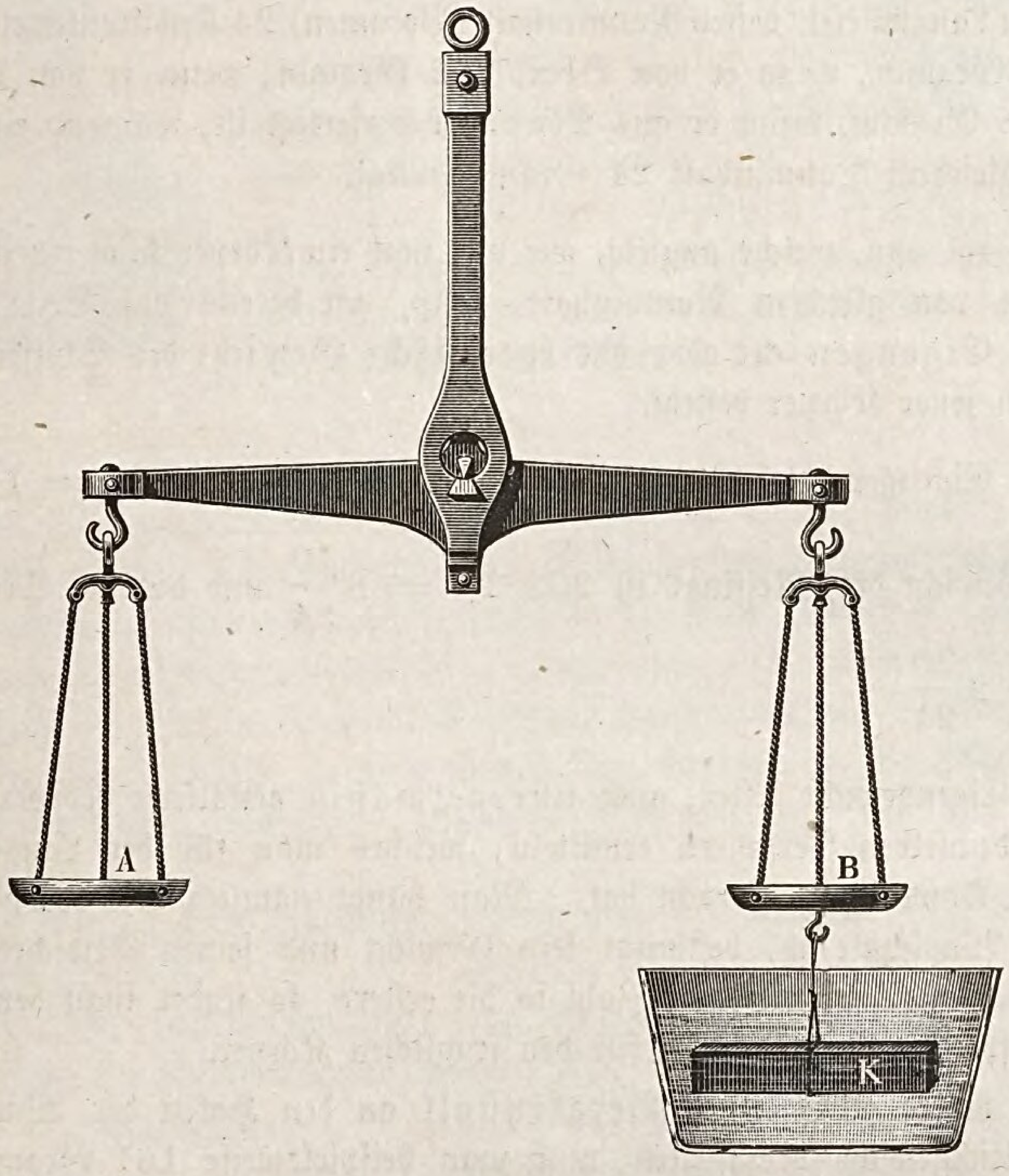
Hängt man nun an den Haken der Wagschale *B* den Körper *K* an, so wird das Gleichgewicht der Wage gestört, die Wagschale *B* wird sinken. Um das Gleichgewicht wieder herzustellen, muß man in die Wagschale *A* so viel Gramme legen, als das Gewicht des Körpers *K* beträgt (also 272 Gramm, wenn der Kör-

*) Statt an den Haken Fig. 78 kann man den zu wägenden Körper auch in der Weise an die eine Wagschale anhängen, wie es Fig. 79 andeutet.

per aus Blei, 202 Gramm, wenn er aus Messing, und 68 Gramm, wenn er aus Marmor besteht).

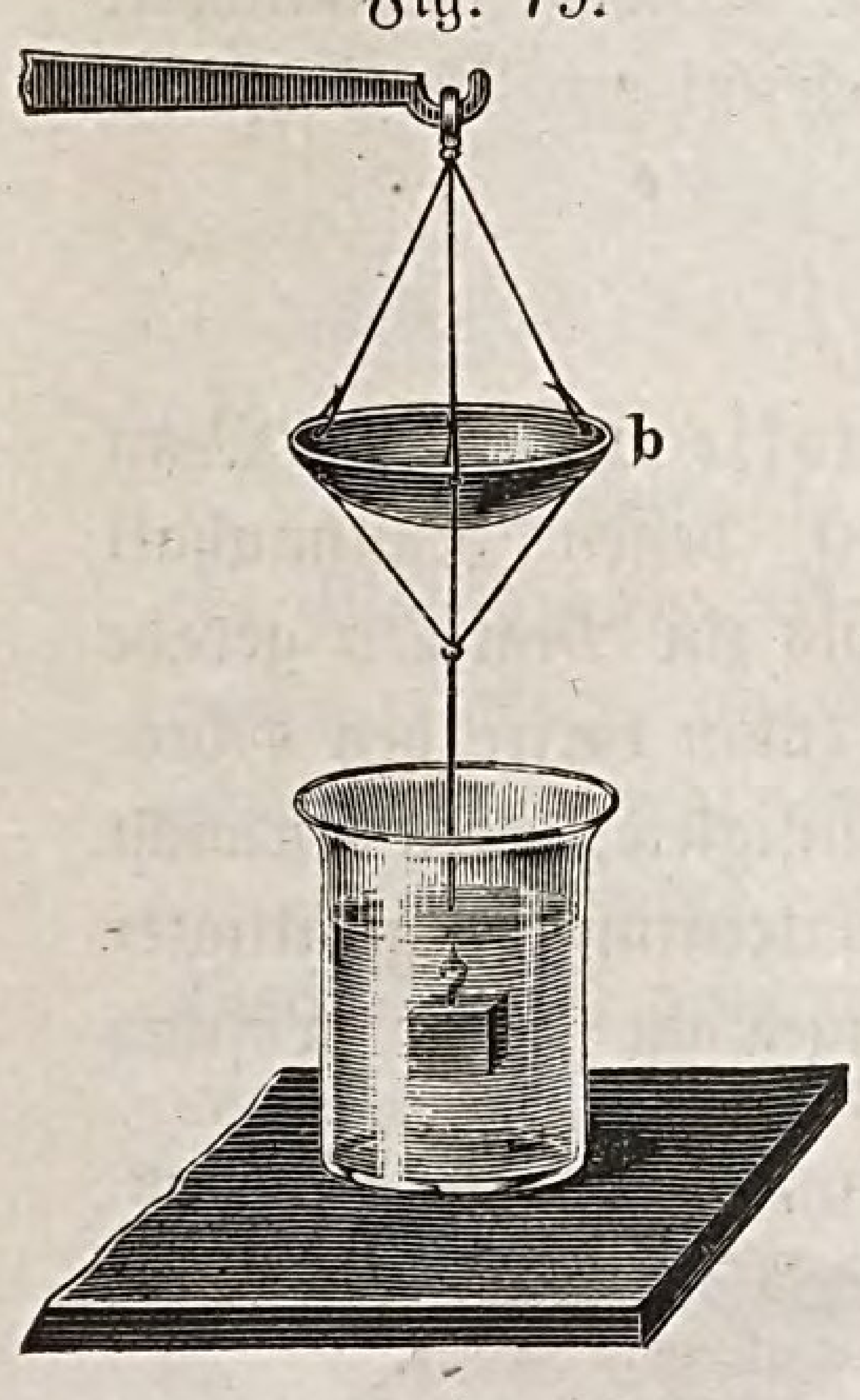
Das Gleichgewicht der Wage wird nun abermals gestört, wenn man den Körper K in Wasser untertaucht, was am besten dadurch geschieht, daß ein unter

Fig. 78.



K aufgestelltes Gefäß mit Wasser soviel gehoben wird, daß der Wasserspiegel noch etwas über die Stelle zu stehen kommt, welche der Langwürfel K bei horizontalem Stande des Wagbalkens einnimmt. In Folge dessen sinkt die Wagschale A, weil eben K durch sein Eintauchen in Wasser an Gewicht verliert. Das Gleichgewicht wird aber vollständig wieder hergestellt, wenn man auf die Wagschale B 24 Gramm auflegt oder von der Wagschale B 24 Gramm wegnimmt.

Fig. 79.



Der Gewichtsverlust, welchen der Langwürfel K (vorausgesetzt, daß er die genannten Dimensionen hat) durch Eintauchen in Wasser erleidet, beträgt also 24 Gramm, welches auch der Stoff sein mag, aus welchem K gebildet ist; 24 Gramm ist aber, wie wir gesehen haben, das Gewicht der Wassermasse, welche mit dem Langwürfel K gleichen Körperinhalt hat. Damit ist also die Behauptung gerechtfertigt, daß ein fester Körper beim Ein-

tauchen in Wasser soviel an Gewicht verliert, als die verdrängte Wassermasse wiegt.

46 **Das Eigengewicht der Körper.** Wir haben im vorigen Paragraph gesehen, daß gleich große Langwürfel verschiedener Stoffe ungleiches Gewicht haben. Ein Langwürfel, dessen Rauminhalt (Volumen) 24 Kubikcentimeter beträgt, wiegt 272 Gramm, wenn er von Blei, 202 Gramm, wenn er von Messing, und nur 68 Gramm, wenn er aus Marmor verfertigt ist, während eine Wassermasse von gleichem Rauminhalt 24 Gramm wiegt.

Die Zahl nun, welche angiebt, wie viel mal ein Körper schwerer ist als eine Wassermasse von gleichem Rauminhalt, wird, wie bereits auf Seite 41 gesagt wurde, das Eigengewicht oder das specifische Gewicht des Stoffes genannt, aus welchem jener Körper besteht.

Das Eigengewicht des Bleies ist demnach $272 : 24 = 11\frac{8}{24}$, das specifische Gewicht des Messings ist $202 : 24 = 8\frac{10}{24}$ und das des Marmors ist $68 : 24 = 2\frac{20}{24}$.

Das Eigengewicht fester, auch unregelmäßig gestalteter Körper läßt sich ganz nach demselben Verfahren ermitteln, welches man für den Langwürfel *K*, Fig. 78, in Anwendung gebracht hat. Man hängt nämlich den Körper an den Haken der Wagschale *A*, bestimmt sein Gewicht und seinen Gewichtsverlust in Wasser und dividirt mit letzterer Zahl in die erstere, so findet man den gesuchten Werth des specifischen Gewichtes für den fraglichen Körper.

Man hänge z. B. einen Bergkrystall an den Haken der Wagschale *B*. Um das Gleichgewicht herzustellen, muß man beispielsweise 161 Gramm auf *A* auflegen, der Krystall wiegt also 161 Gramm. Wird er in Wasser eingetaucht, so sinkt die Wagschale *A* und man muß auf *B* 60 Gramm auflegen, um das Gleichgewicht abermals herzustellen, eine Wassermasse von gleichem Rauminhalt mit dem Krystall wiegt also 60 Gramm, und das Eigengewicht des Bergkrystalls ist also $161 : 60 = 2\frac{41}{60} = 2{,}68$.

Sehr leicht läßt sich das Eigengewicht flüssiger Stoffe ermitteln. Man bringe ein Glasgefäß ungefähr von der Form Fig. 80, dessen Rauminhalt bereits ermittelt ist, also etwa einen Glaskolben, welcher bis zur Marke *a* gerade 100 Kubikcentimeter faßt, auf der Wage ins Gleichgewicht (man tarire den Glaskolben) und erfülle ihn bis *a* mit der zu untersuchenden Flüssigkeit, deren Gewicht dann zu ermitteln ist. Findet man z. B., daß 100 Kubikcentimeter gesättigter Kochsalzlösung 120 Gramm wiegen, so ist das Eigengewicht dieser Lösung $\frac{120}{100} = 1\frac{2}{10}$ Gramm, denn 100 Kubikcentimeter Wasser wiegen 100 Gramm.

Hat man gefunden, daß 100 Kubikcentimeter Weingeist 82 Gramm wiegen, so ist das Eigengewicht des Weingeistes $^{82}/_{100}$.

Fig. 80.



Eine kleine Tabelle des Eigengewichtes der bekanntesten festen und flüssigen Körper ist bereits auf Seite 41 enthalten.

Der dort angeführte Aether, gewöhnlich Schwefeläther genannt, ist der wohlriechende Antheil der bekannten Hofmann'schen Tropfen, welche ein Gemenge von Weingeist und Aether sind.

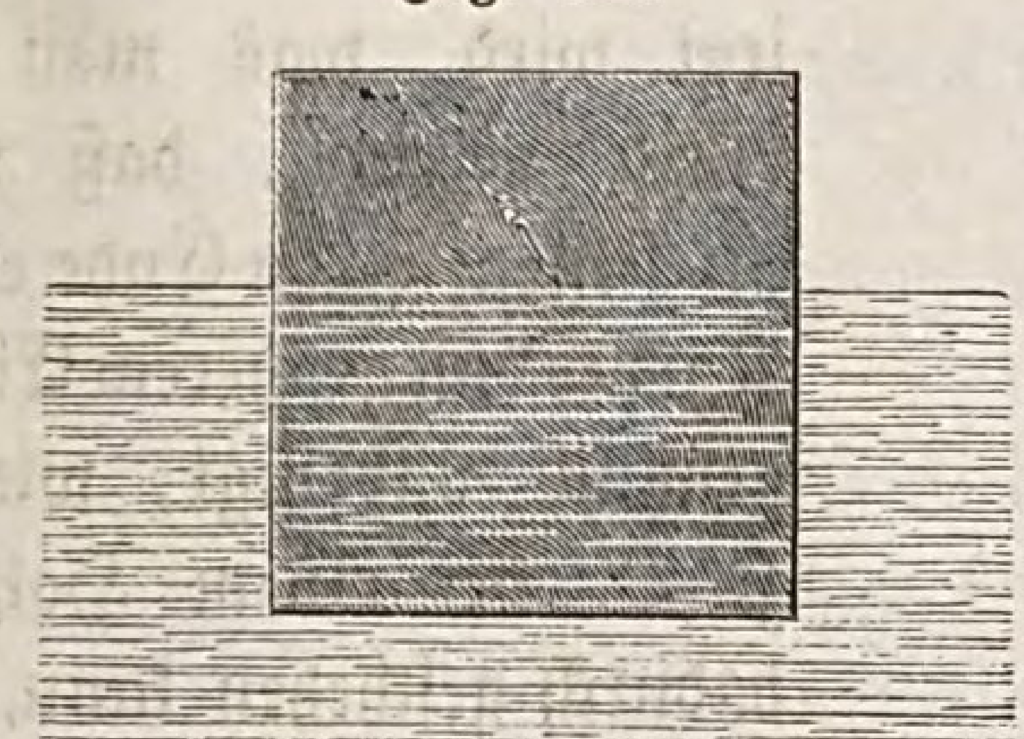
Der wasserfreie Weingeist (Alkohol) läßt sich in allen Verhältnissen mit Wasser mischen; je mehr Wasser aber hinzukommt, desto mehr nähert sich das Eigengewicht der Mischung dem Werthe 1.

Das Schwimmen. Wenn ein Körper, welcher leichter ist als eine 47
Wassermasse gleichen Rauminhalts, ganz in Wasser untergetaucht wird, so ist der Auftrieb größer als sein Gewicht, er steigt in die Höhe, wenn er nicht durch eine entsprechende Kraft niedergedrückt wird. Ließe man z. B. die lufterfüllte zugestopfte Flasche, Fig. 77, welche durch die Kraft der Hand unter den Wasserspiegel untergetaucht ist, los, so würde sie nicht untersinken, sondern in die Höhe steigen, bis ein Theil derselben über den Wasserspiegel hervorragt, bis die Flasche also schwimmt.

Das Gleiche wird stattfinden, wenn man den gleichen Versuch mit einem Stück Holz ausführt.

Ein Würfel von Buchenholz (Fig. 81), an welchem jede Seite 10 Centimeter lang ist (also ein Kubikdecimeter Buchenholz), wiege 600 Gramm, so wird er so tief in Wasser einsinken, daß noch 4 Centimeter seiner senkrechten Kante aus dem Wasser hervorragen, während 6 Centimeter derselben untergetaucht sind; der Rauminhalt des untergetauchten Theiles ist aber nun $10 . 10 . 6 = 600$ Kubikcentimeter, 600 Kubikcentimeter Wasser wiegen aber 600 Gramm, das Gewicht des ganzen Holzwürfels ist also gleich dem Gewicht der verdrängten Wassermasse.

Fig. 81.



Die Glasflasche, Fig. 77, schwimmt auf Wasser, obgleich das Eigengewicht des Glases größer ist als das des Wassers, weil die Glashülle sammt ihrem Inhalte weniger wiegt, als eine Wassermasse von gleichem Rauminhalt. Eine massive Glasmasse von der Form der Flasche Fig. 77 würde unbedingt untersinken.

So schwimmt auch eine flache Blechschüssel auf dem Wasser, obgleich das Blech ein viel größeres Eigengewicht hat als Wasser. Es erklärt sich dadurch auch, wie eiserne Schiffe auf dem Wasser schwimmen können.

Wenn ein schwimmender seiner ganzen Ausdehnung nach gleichartiger Körper länger ist als breit und dick, wie z. B. ein Langwürfel von Holz, so befindet er

sich nur dann im Zustande eines **sicheren Gleichgewichtes**, wenn seine Längenaxe wagerecht liegt, wie Fig. 82 andeutet. Wird ein solcher Körper so in das

Fig. 83.

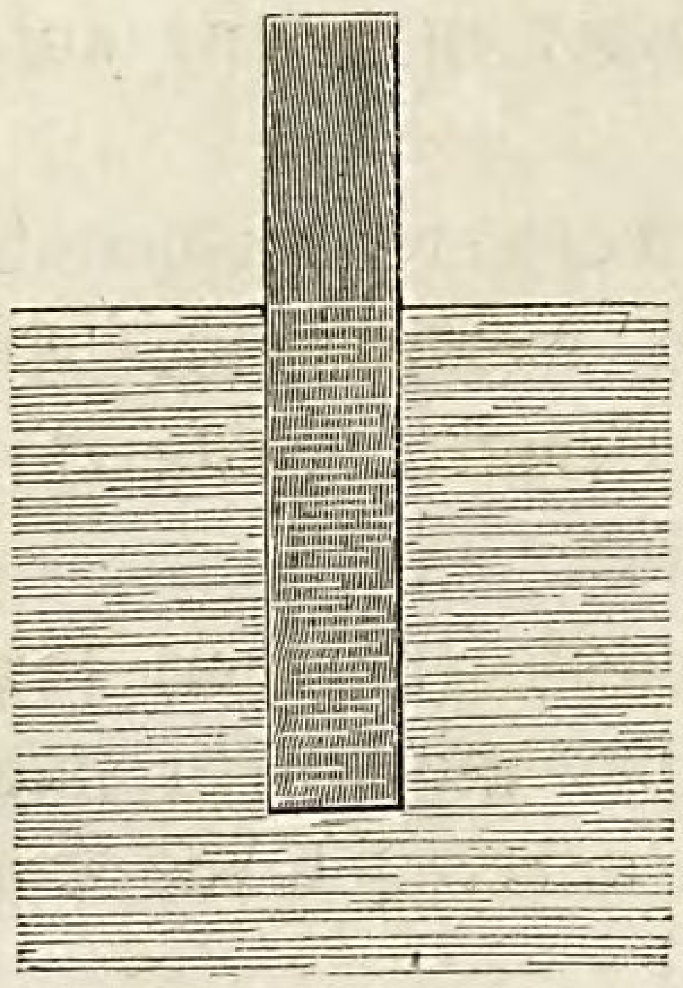
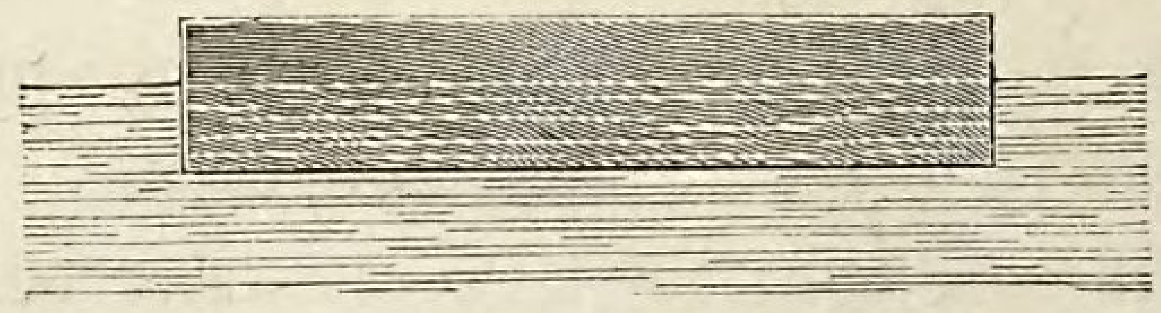


Fig. 82.



Wasser getaucht, daß seine Längenaxe senkrecht steht, wie Fig. 83, so befindet er sich im Zustand des **unsicheren Gleichgewichtes**, er kehrt von selbst wieder in die Lage Fig. 82 zurück, sobald die Kraft zu wirken aufhört, welche ihn in die Lage Fig. 83 brachte.

Soll ein langer Körper in **aufrechter Lage sicher** schwimmen, so muß man dafür sorgen, daß sein Schwerpunkt nicht in seiner Mitte liegt, sondern möglichst

Fig. 86.

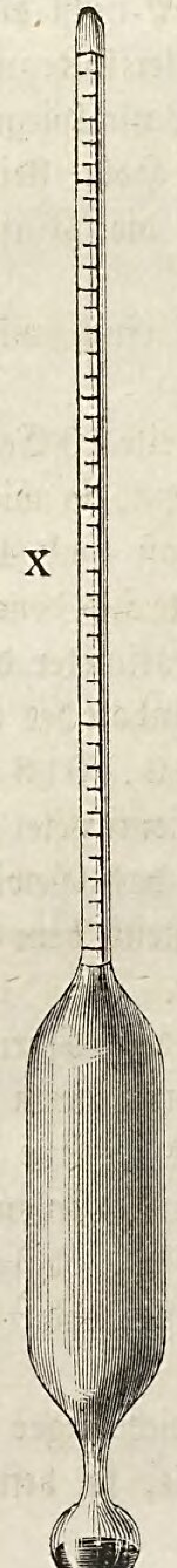


Fig. 85.

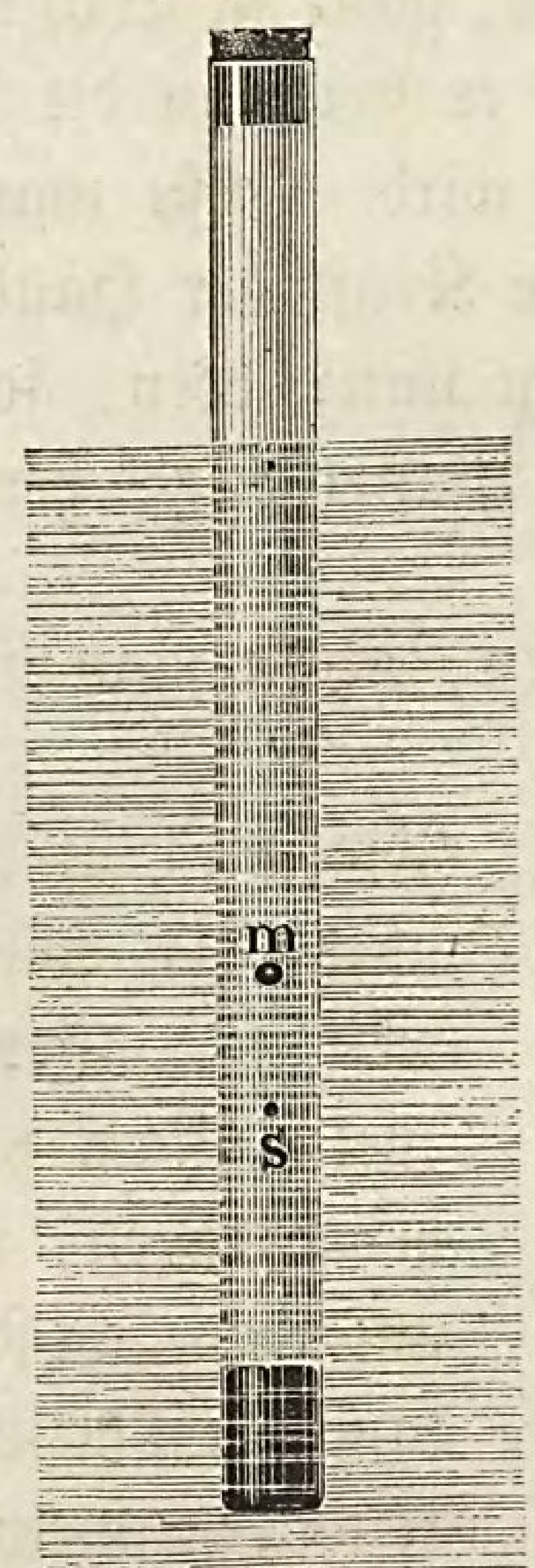
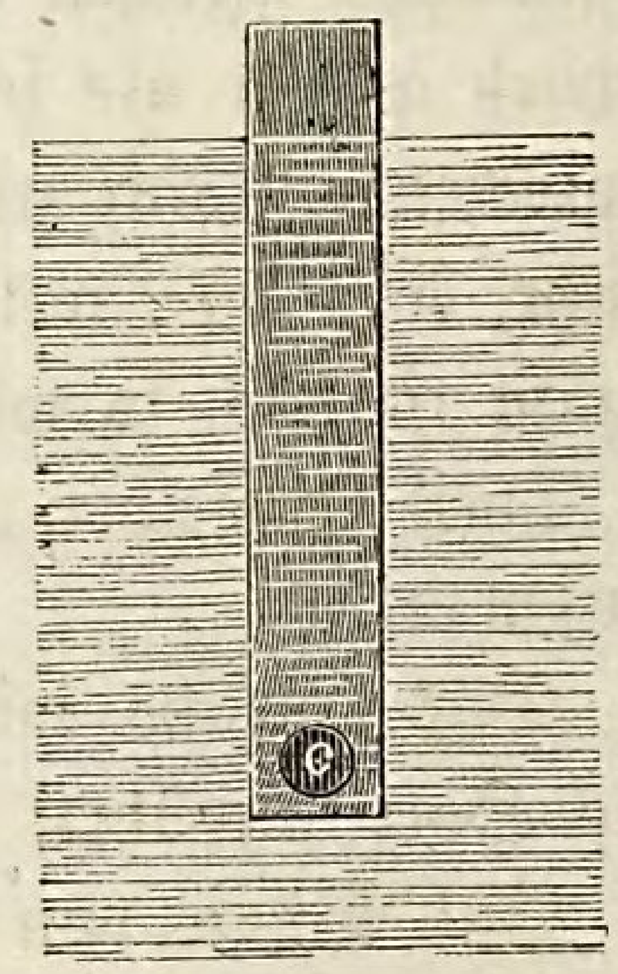


Fig. 84.



nahe an das eine Ende verlegt wird, was man dadurch erreicht, daß man an seinem einen Ende einen Körper von größerem Eigengewicht anbringt, wie es z. B. bei einem Holzstab dadurch geschehen kann, daß man in ein am einen Ende gebohrtes Loch ein cylindrisches Stück *o*, Fig. 84, von Eisen oder Blei einsteckt.

Soll die dünnwandige, unten zugeschmolzene, oben zugestopfte Glasröhre Fig 85 aufrecht schwimmen, so erreicht man dies dadurch, daß man durch Einfüllen von Schrotkörnern oder Quecksilber den Schwerpunkt *s* tiefer herunter bringt, als den Schwerpunkt *m* der verdrängten Wassermasse.

Dies ist nun auch bei den aus Glasröhren verfertigten **Senkwagen (Aräometern)**, Fig. 86, der Fall, deren

aufrechtes Schwimmen dadurch gesichert wird, daß das untere kugelförmige Ende derselben theilweise mit Quecksilber gefüllt ist.

Während der untere Theil dieser Senkwagen entsprechend erweitert ist, besteht der obere Theil derselben aus einer engeren cylindrischen Glasröhre, welche eine auf einem Papierstreifen aufgetragene Theilung (Scala, weshalb diese Instrumente auch Scalenaräometer genannt werden) enthält.

Sinkt nun die Senkwage in Wasser bis zu einem bestimmten Theilstrich der Scala ein, so wird sie in einer leichteren Flüssigkeit, etwa in Weingeist, tiefer, also bis zu einem über dem Wasserpunkte liegenden Theilstrich einsinken. In einer Flüssigkeit dagegen, deren Eigengewicht größer ist als das des Wassers, etwa in einer Auflösung von Kochsalz, sinkt das Instrument weniger tief ein als in Wasser, also nur bis zu einem unter dem Wasserpunkt liegenden Theilstrich.

Die Theilung ist nicht bei allen Senkwagen in gleicher Weise ausgeführt. Für Senkwagen, welche für verschiedene Flüssigkeiten gebraucht werden sollen, sind solche Theilungen am zweckmäßigsten, deren Theilstriche das Eigengewicht der Flüssigkeiten angeben, in denen das Instrument bis hierher einsinkt.

Die Procentaräometer können nur für eine bestimmte Flüssigkeitsgattung angewendet werden, und geben die Mischungsverhältnisse derselben an; so dient z. B. der Weingeistmesser (Alkoholometer) nur für Mischungen von Wasser und Weingeist. Der unterste mit *o* bezeichnete Punkt der Theilung ist derjenige, bis zu welchem das Instrument in Wasser, der oberste mit 100 bezeichnete ist derjenige, bis zu welchem es in reinem Weingeist einsinkt. Dazwischen sind die Punkte bezeichnet, bis zu welchen das Instrument in einer Mischung einsinkt, wenn dieselbe 1, 2, 3, 4 . . . . . bis 96, 97, 98, 99 Procent Weingeist enthält.

In gleicher Weise geben die Zuckerwagen (Saccharometer) an, wie viel Procent Zucker in einer Zuckerlösung enthalten sind; auch die sogenannten Mostwagen gehören hierher. Je 5 Grad der Mostwage entsprechen einem Zuckergehalt von 1 Procent.

Die Salzspindeln geben an, wie viel Procent Salz in einer Salzlösung enthalten sind u. s. w.

Näheres über die Theilung der Senkwagen gehört nicht hierher.

Verhalten der Flüssigkeiten gegen feste Körper. Wenn 48
man auf eine horizontale Glastafel einen Tropfen Wasser bringt, so breitet er sich aus, während er sich nicht ausbreitet, sondern abrundet, wenn die Glasplatte mit Fett eingerieben oder mit Hexenmehl (semen lycopodii) bestreut ist. Wenn man eine Glasflasche oder eine Glasplatte in Wasser eintaucht und dann wieder herauszieht, so bleibt immer etwas Wasser an dem Glase hängen, ein Beweis nicht nur, daß das Wasser am Glase anhaftet, sondern auch, daß dieses Anhaften (diese Adhäsion) stärker ist als das Zusammenhalten (Cohäsion) der Wassertheilchen unter sich, denn die Wassertheilchen, welche am Glase hängen bleiben, müssen doch offenbar von dem zurückbleibenden Wasser abgerissen werden.

Wie hier das Glas vom Wasser benetzt wird, so wird überhaupt ein fester Körper von einer Flüssigkeit benetzt, wenn der Zusammenhang der Flüssigkeitstheilchen unter sich kleiner ist als die Kraft, mit welcher sie an dem festen Körper anhaften.

Ebenso, wie vom Wasser, wird das Glas auch von Weingeist, von Aether, von Oel u. s. w. benetzt, nicht aber von Quecksilber. Das Fett, also auch eine mit einer Fettschicht überzogene Glasfläche, wird von Wasser nicht benetzt.

Gießt man aus einem Glas- oder Porzellangefäß Wasser oder eine andere Flüssigkeit aus, welche an der Gefäßwand anhaftet, so geschieht es leicht, daß sie ganz oder theilweise außen an dem Gefäße herabläuft, wie Fig. 87 andeutet und dadurch ein Verschütten der Flüssigkeit veranlaßt. Um dies zu verhindern, kann man den Rand und den oberen Theil der Außenwand an der Ausgußstelle (bei *a*, Fig. 88) mit etwas Fett bestreichen, und dadurch das Anhaften des Wassers verhindern.

Fig. 87.

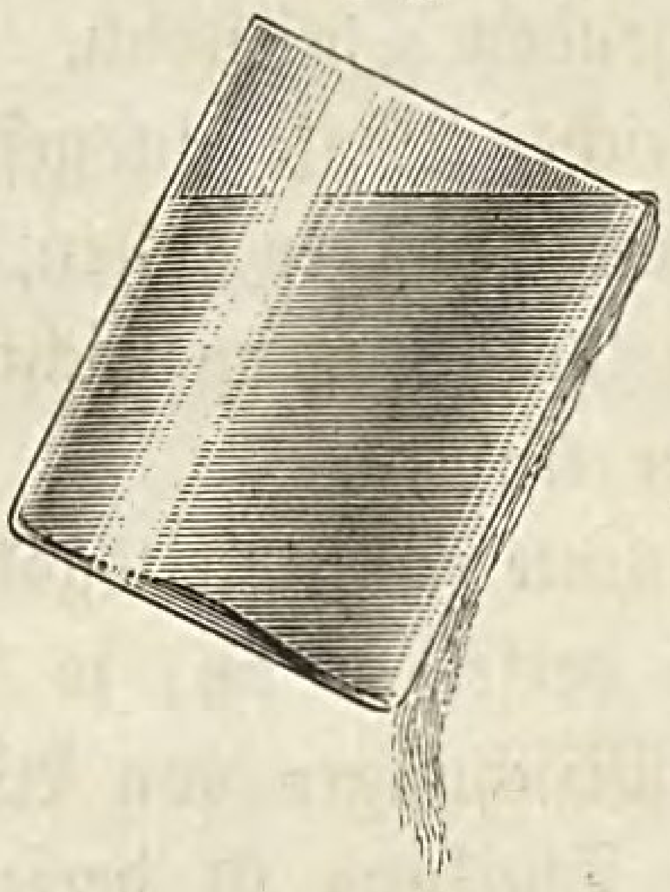


Fig. 88.

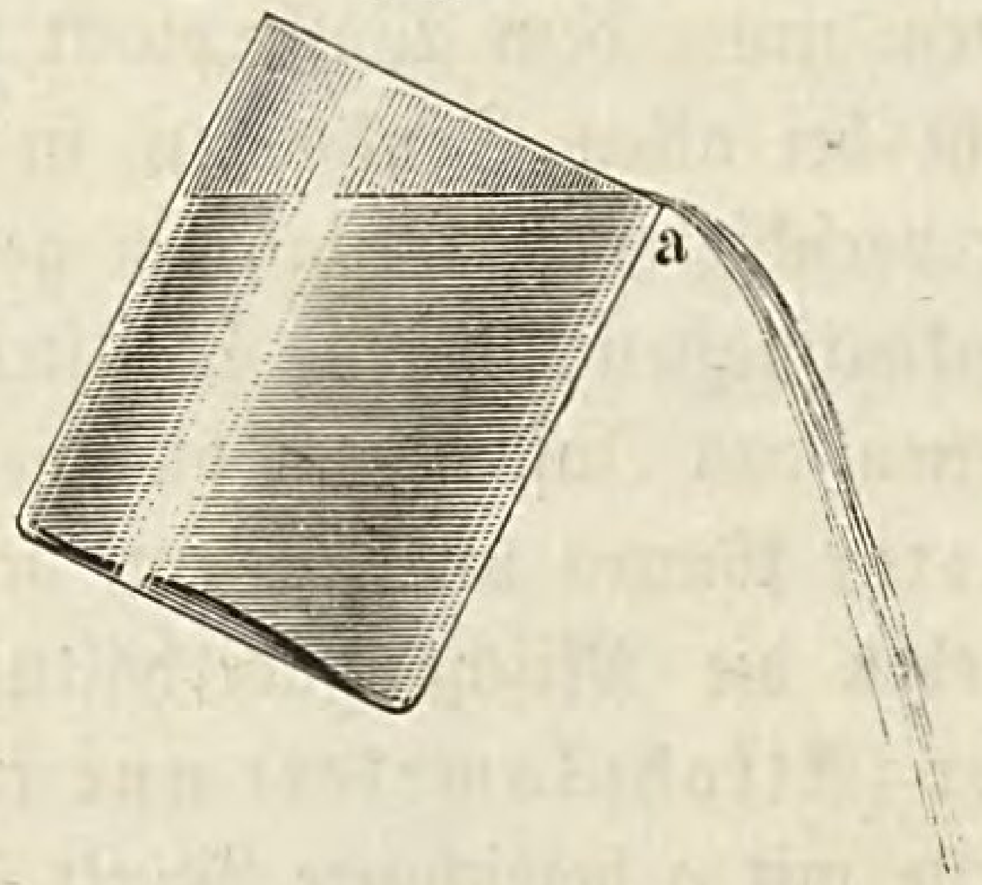
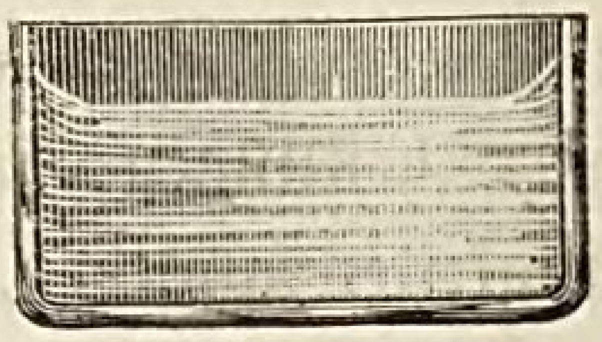


Fig. 89.



Die wagerechte Oberfläche des Wassers in einem Glasgefäße kann sich nie vollständig bis zur Glaswand erstrecken, durch die Anziehung, welche das Glas auf die benachbarten Waffertheilchen ausübt, wird es vielmehr ringsherum etwas gehoben, wie dies Fig. 89 andeutet. Die Krümmung der Wasseroberfläche erstreckt sich ungefähr bis zu einem Abstand von 2 Millimetern von der Glaswand, so daß die wagerechte Oberfläche erst 2 Millimeter vom Rande beginnt.

Taucht man in ein Gefäß mit Wasser ein Glasröhrchen ein, dessen Halbmesser kleiner als 2 Millimeter, dessen Durchmesser also kleiner ist als 4 Millimeter, so erstreckt sich die Krümmung der Wasseroberfläche von einem Punkte der Röhrenwand bis zum gegenüberstehenden, ohne daß sich in der Mitte der Röhre eine horizontale Wasseroberfläche bilden könnte, dagegen aber steigt in dem Röhrchen eine Wassersäule auf, deren Höhe wächst, wenn der Durchmesser der Röhre kleiner wird. Beträgt der Durchmesser der Röhre 2 Millimeter, 1 Millimeter, $1/2$ Millimeter, so steigt das Wasser in derselben bis zu einer Höhe von 10, 20, 40 Millimetern.

Ganz enge Glasröhrchen, in welchen das Wasser in der angedeuteten Weise aufsteigt, Fig. 90, werden **Haarröhrchen** genannt. Thermometerröhren verschiedener Weite eignen sich sehr gut zu diesen Versuchen.

Fig. 90.

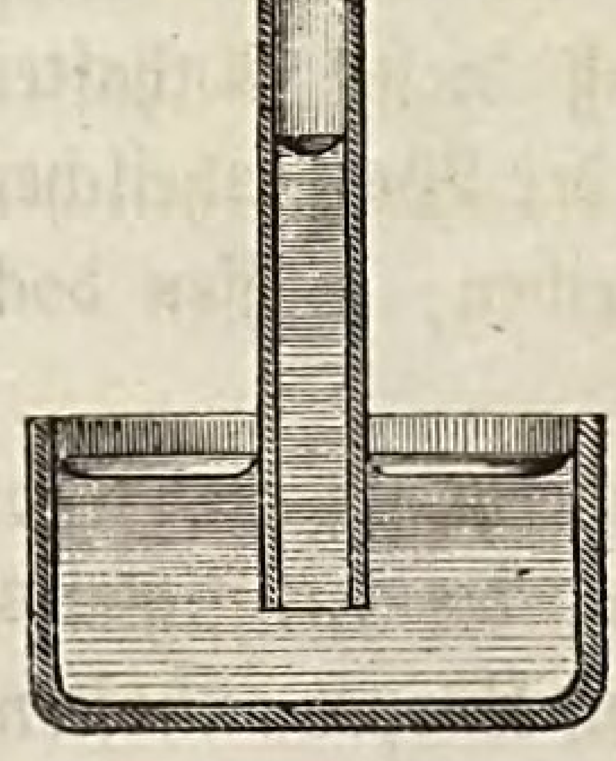
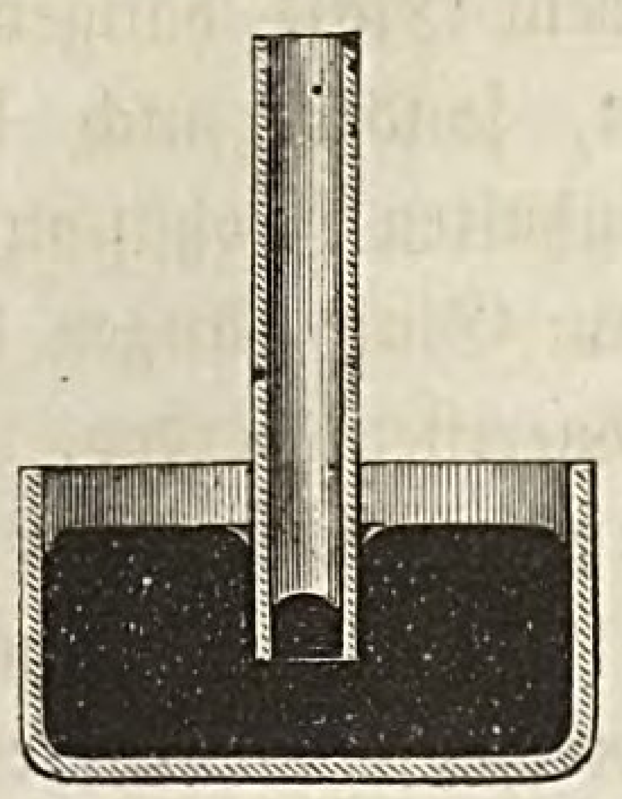


Fig. 91.



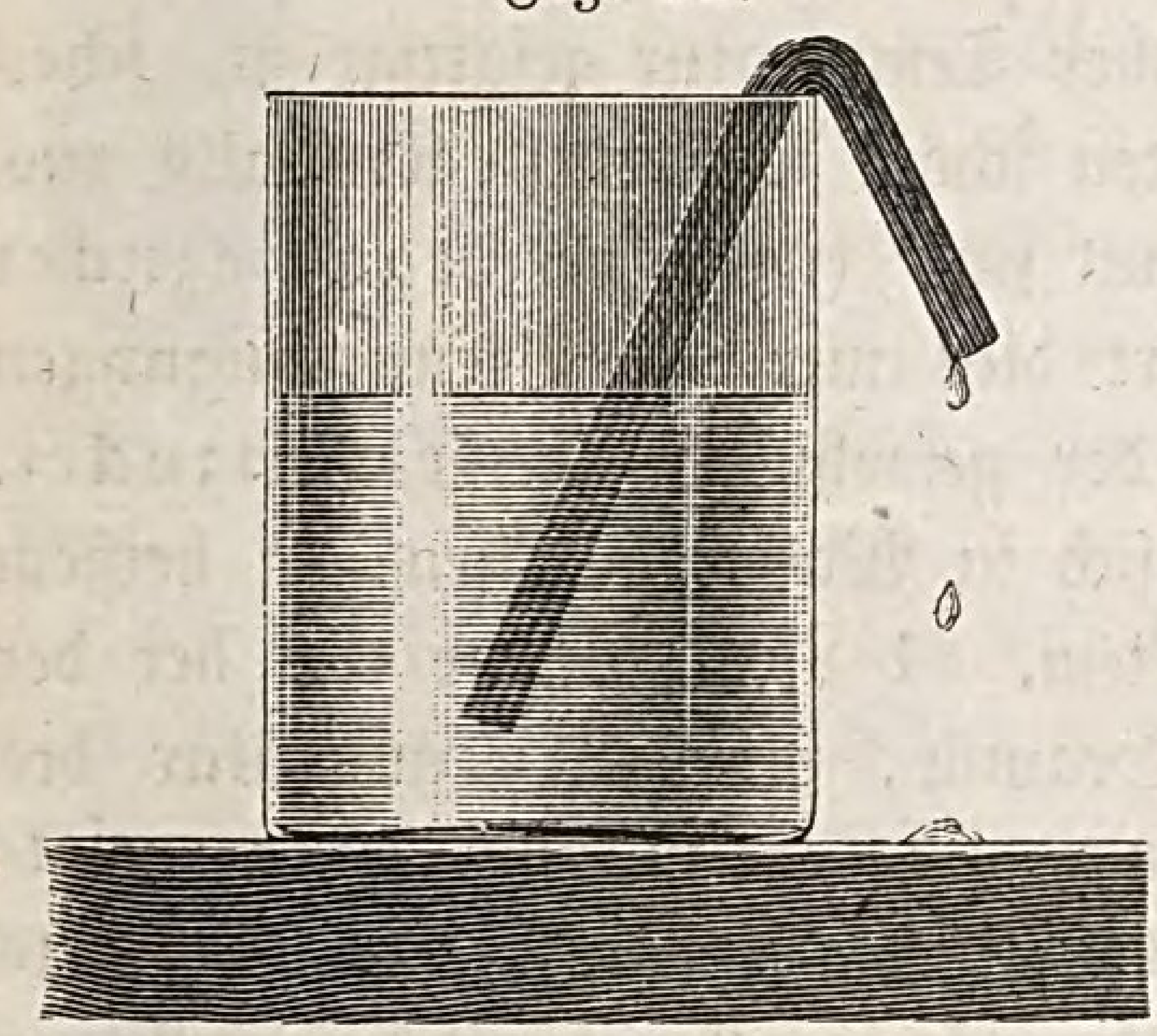
In dem gleichen Haarröhrchen steigt Weingeist, Petroleum u. s. w. nicht halb so hoch als Wasser.

Taucht man ein Haarröhrchen in eine Flüssigkeit, welche das Glas nicht

benetzt, wie Quecksilber, so nimmt die Oberfläche der Flüssigkeit im Röhrchen eine nach oben gewölbte Gestalt an, Fig. 91, während sie zugleich unter den Quecksilberspiegel im äußeren Gefäße herabgedrückt wird, und zwar um so tiefer, je enger das Röhrchen ist.

Die Haarröhrchenwirkung tritt überall auf, wo ein Körper, der mit vielen feinen Canälen durchzogen ist, mit einer Flüssigkeit in Berührung kommt. Ein derartiger Körper ist z. B. das Löschpapier. Man lege einen Bogen Löschpapier 5 bis 6 mal zusammen, tauche den so gebildeten Bausch in ein Glas mit Wasser und biege dann sein oberes Ende etwas um, wie es die Fig. 92 zeigt, so wird das Wasser in den Canälchen des Papiers aufsteigen und über den Rand des Gefäßes hinauswandern, um am äußeren Ende des Bausches herabzutropfen.

Fig. 92.



Das Aufsteigen des Oels in den Dochten unserer Oellampen, des durch die Flamme geschmolzenen Talgs oder Wachses in den Dochten der Kerzen ist gleichfalls eine Haarröhrchen-Wirkung.

In den Petroleumlampen steigt die Flüssigkeit durch Haarröhrchenwirkung ziemlich hoch über ihren Spiegel im Gefäß bis zur Flamme in die Höhe. Wollte man in einer solchen Lampe Oel brennen, so würde es nicht gelingen, die Flamme zu unterhalten, weil das dickflüssige Oel nicht so leicht und so rasch in den Canälchen des Dochtes aufsteigt, wie es zur Erhaltung der Flamme nöthig ist. Bei den Oellampen sowohl wie bei den Talg- und Wachslichtern befindet sich die Flamme ganz nahe über dem Spiegel der sie nährenden Flüssigkeit.

Auflösung. Während das Glas, das Porzellan u. s. w. durch die Berührung mit Wasser nicht angegriffen wird, giebt es viele Stoffe, welche in Berührung mit Wasser aufgelöst, d. h. in den flüssigen Zustand übergeführt werden, wie z. B. Kochsalz, Salpeter, Alaun, Eisenvitriol, Kupfervitriol, Glaubersalz, Zucker u. s. w. 49

Hier ist offenbar die Kraft, mit welcher die Theilchen der festen Körper zusammengehalten werden, nicht so groß, wie die anziehende Kraft, welche die Wassertheilchen auf sie ausüben. Die Salpetertheilchen z. B. ziehen einander nicht so stark an, wie sie von den Wassertheilchen angezogen werden.

In 1 Liter (1000 Cubikcentimeter) Wasser von gewöhnlicher Zimmertemperatur kann man ungefähr 250 Gramm Salpeter auflösen. Setzt man der in der Kälte gesättigten Lösung noch mehr Salpeter zu, so bleibt derselbe ungelöst; wenn aber nun die Flüssigkeit erwärmt wird, so löst sich mehr und mehr Salpeter in derselben auf; 1 Liter siedend heißes Wasser kann über 2000 Gramm Salpeter, also über 8 mal so viel auflösen als Wasser von mittlerer Lufttemperatur.

Wenn man aber nun die bei hoher Temperatur gesättigte Salpeterlösung ruhig erkalten läßt, so kann die ganze Salpetermasse nicht mehr gelöst bleiben, ein

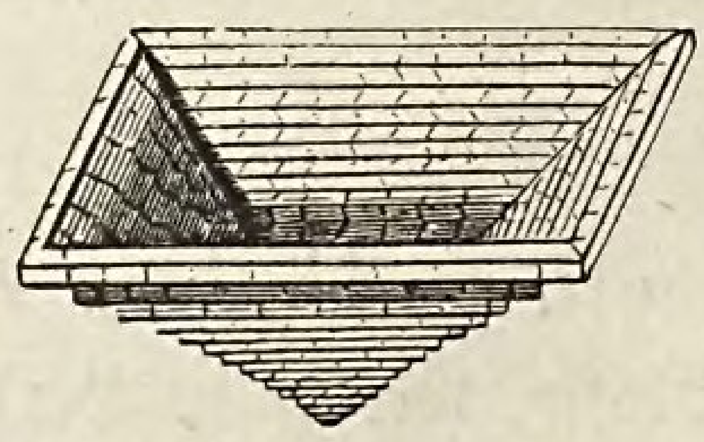
Theil davon muß sich aus der Flüssigkeit ausscheiden, nnd zwar schießt der Salpeter aus der erkaltenden Lösung in Form regelmäßiger mehr oder weniger durchsichtiger sechsseitiger Nadeln oder Säulen an, d. h. er krystallisirt aus der Lösung heraus.

Nur dann krystallisirt der Salpeter in schönen regelmäßigen Säulen, wenn ein ziemliches Quantum der Lösung recht langsam und möglichst ungestört erkaltet; wird aber die erkaltende Lösung fortwährend umgerührt, so können sich die ausscheidenden Salpetertheilchen nicht regelmäßig gruppiren, der bei gestörter Krystallisation ausgeschiedene Salpeter erscheint in Form eines feinen Pulvers.

Aehnliche Versuche lassen sich mit Alaun, Eisenvitriol, Zucker u. s. w. anstellen. Aus einer Zuckerlösung, welche bei hoher Temperatur gesättigt ist, scheiden sich bei langsamem und ruhigem Erkalten schöne wasserhelle Krystalle aus, welche unter dem Namen Kandiszucker bekannt sind (wenn der Kandiszucker mehr oder weniger braun gefärbt ist, so rührt dies nur von Verunreinigungen her); bei gestörter Krystallisation bildet sich der gewöhnliche weiße Hutzucker.

Auch unser gewöhnliches Kochsalz läßt sich in Wasser auflösen; in heißem Wasser löst sich aber nicht viel mehr als in kaltem. 1 Liter Wasser löst bei der Temperatur des schmelzenden Schnees 350 Gramm, bei der Temperatur des siedenden Wassers nur 410 Gramm Kochsalz auf. Um aus einer gesättigten Lösung von Kochsalz Krystalle auszuscheiden, muß deshalb stets ein Theil des auflösenden Wassers durch Verdampfen entfernt werden. Wenn man 1 Liter gesättigter Kochsalzlösung bis auf $^1/_2$ Liter eindampft, so scheidet sich ungefähr die Hälfte des aufgelösten Salzes als würfelförmige Kryställchen aus. Bei raschem Verdampfen, wie es z. B auf unseren Salinen stattfindet, bilden sich die Kryställchen an der Oberfläche der Lösung, welche sich in Form 4seitiger innen hohler, treppenförmiger Pyramiden, Fig. 93, zusammensetzen, die erst in der Lösung untersinken, wenn ihr Gewicht eine gewisse Gränze erlangt hat.

Fig. 93.



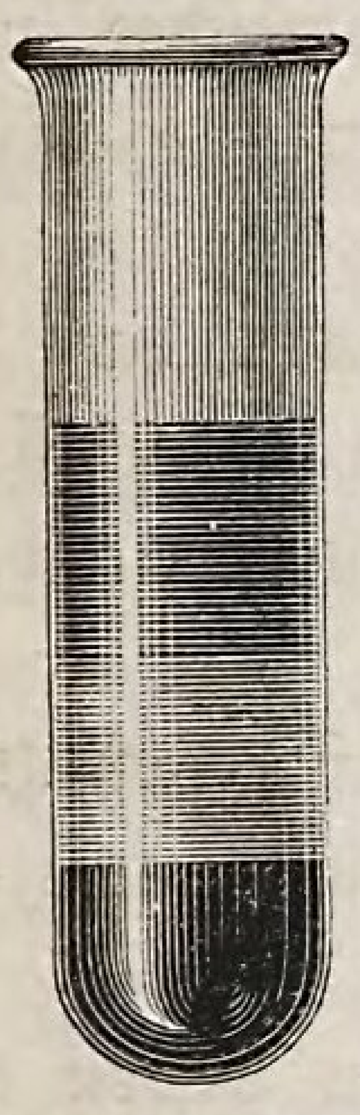
Auch in Weingeist lassen sich manche Stoffe auflösen und zwar theils solche, welche auch in Wasser löslich sind, wie Zucker, sodann auch solche, welche von Wasser nicht aufgelöst werden, wie Harze, z. B. Siegellack. Weingeistige Auszüge von Kräutern, Wurzeln, Rinden u. s. w. nennt man Tincturen, während Auflösungen von Harzen in Weingeist als Lackfirnisse bezeichnet werden. Liqueure sind mit Zucker versüßte Auflösungen von flüchtigen Oelen, wie Anisöl, Pfefferminzöl u. s. w., in Weingeist.

Auch Petroleum, Aether u. s. w. sind im Stande, mannigfache Stoffe aufzulösen; der Aether z. B. löst Talg und Baumöl, welche in Wasser und Weingeist unlöslich sind. Das Benzin (oder Benzol) löst gleichfalls Fette und Harze auf und wird deshalb zum Fleckenausmachen gebraucht.

50 **Verhalten der Flüssigkeiten gegen einander.** In ein etwas weites Reagenzglas, Fig. 94, oder in eine andere passende unten geschlossene Glasröhre gieße man etwas Quecksilber, darauf Wasser und auf dieses Oel, so werden diese Flüssigkeiten nach ihren Eigengewichten geschichtet

bleiben, zu unterst das Quecksilber als die schwerste, zu oberst das Oel als die leichteste der drei Flüssigkeiten. Keine der drei Flüssigkeiten wird sich mit einer der beiden anderen mischen. Selbst wenn man die Röhre gut schließend vorstopft und ihren Inhalt tüchtig durch einander schüttelt, werden sich doch die drei Flüssigkeiten alsbald wieder trennen, und nach ihren specifischen Gewichten über einander lagern.

Fig. 94.



Anders verhalten sich Wasser und Weingeist zu einander. Gießt man vorsichtig Weingeist auf das in irgend einem Gefäß enthaltene Wasser, so wird sich keine scharfe Gränze zwischen den beiden Flüssigkeiten bilden, das Wasser wird sich allmälig im Weingeist, der Weingeist allmälig im Wasser verbreiten, bis sich endlich nach längerer Zeit eine gleichförmige Mischung gebildet hat. Schüttelt oder rührt man aber die beiden Flüssigkeiten tüchtig durch einander, so geht die Mischung rasch vor sich und die gemischten Flüssigkeiten trennen sich auch nicht wieder, wenn man die Mischung ruhig stehen läßt.

Es rührt dieß daher, daß die Anziehung zwischen einem Wassertheilchen und einem Weingeisttheilchen stärker ist als die Anziehung zwischen zwei Wassertheilchen und stärker als die Anziehung zwischen zwei Weingeisttheilchen. Damit hängt es denn auch zusammen, daß beim Mischen von Wasser und Weingeist eine Zusammenziehung erfolgt, d. h. daß der Rauminhalt der Mischung kleiner ist als der Raum, den die beiden Flüssigkeiten vor der Mischung einnahmen. Wenn man z. B. 50 Kubikcentimeter Alkohol (wasserfreien Weingeist) mit 50 Kubikcentimeter Wasser mischt, so nimmt die Mischung nur einen Raum von 97 Kubikcentimetern ein.

Aehnlich wie Wasser und Weingeist verhält sich Wasser und concentrirte Schwefelsäure (Vitriolöl oder englische Schwefelsäure), doch muß bemerkt werden, daß man mit Schwefelsäure sehr vorsichtig umgehen muß. Vitriolöl zerfrißt Haut und Kleider und selbst stark verdünnte Säure macht fatale rothe Flecken in die Kleider. Wenn man Wasser und Vitriolöl rasch zusammengießt, so erwärmt sich die Mischung so stark, daß Glasgefäße, in welchen sie gemengt werden, leicht springen. Wenn man die Mischung machen will, so muß man unter stetem Umrühren die Schwefelsäure nur nach und nach dem Wasser zusetzen, nie aber soll man das Wasser der Schwefelsäure zusetzen.

Bewegungserscheinungen flüssiger Körper. Als schwere 51
Körper sind die Flüssigkeiten den Fallgesetzen unterworfen wie die festen. Wasser, welches man aus irgend einem Gefäße ausgießt, fällt zu Boden und das Fallen der Regentropfen beweist gleichfalls, daß dieselben den Fallgesetzen unterworfen sind.

Eine Folge der leichten Verschiebbarkeit und Trennbarkeit der einzelnen Wassertheilchen ist es aber, daß einzelne Wassertheilchen für sich in Bewegung gerathen können, während die übrige Masse in Ruhe bleibt, oder doch nur in langsame Bewegung geräth. Auf einer schiefen Ebene rutscht das Wasser nicht etwa als ein zusammenhängendes Ganzes hinab, sondern es fließt, d. h. die einzelnen Theilchen eines jeden Querschnittes bewegen sich mit ungleicher Geschwindigkeit, so daß

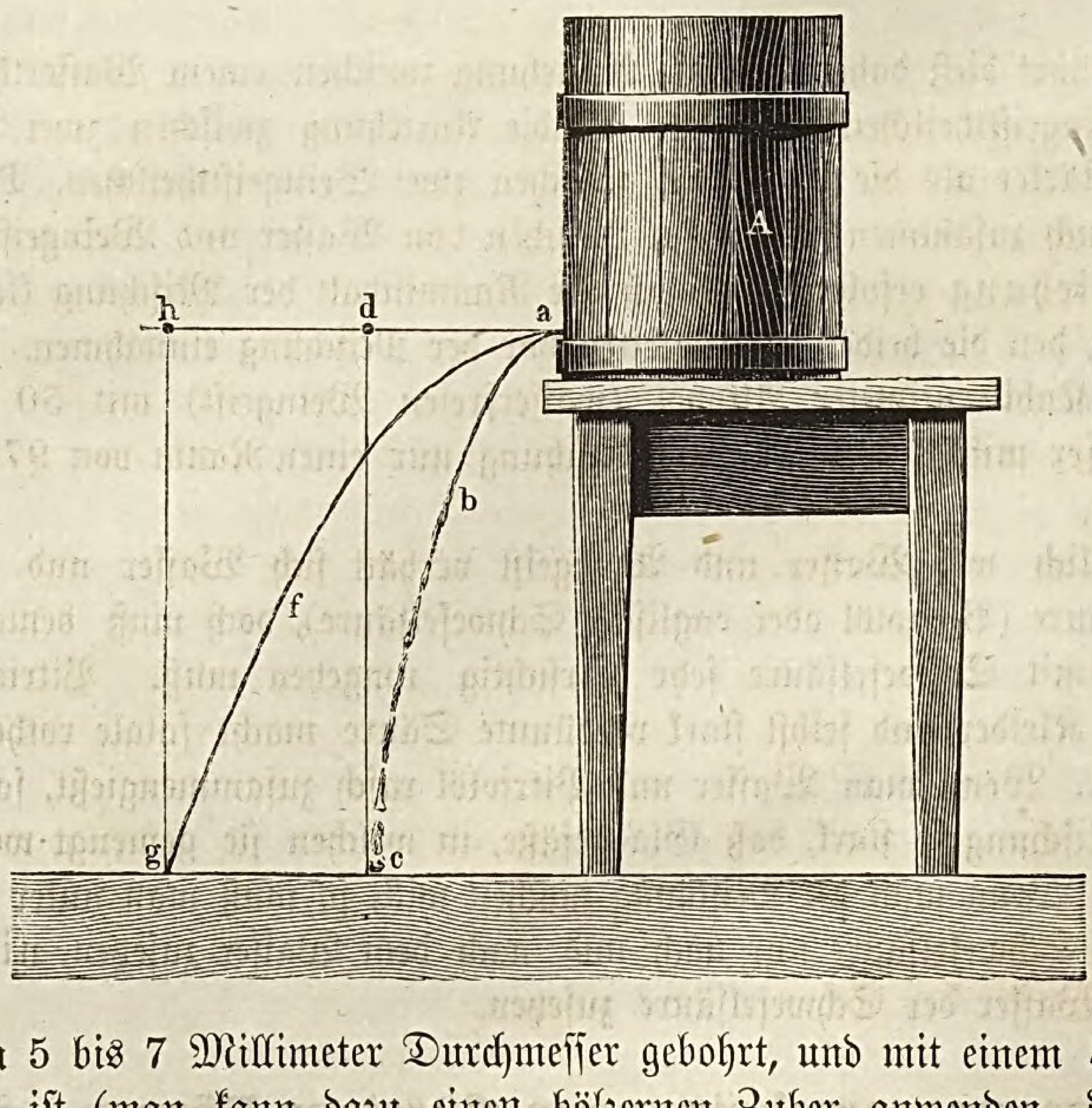
die schneller strömenden Theilchen die langsamer sich bewegenden hinter sich zurücklassen. Man kann das an jedem Fluß, an jedem Bach beobachten. Ein auf dem Wasser schwimmendes Stückchen Holz wird in der Mitte des Stromes weit schneller hinabgeführt, als ein solches ganz nahe am Ufer schwimmendes, und ebenso strömt das Wasser am Boden des Baches langsamer, als in der Mitte seiner Oberfläche.

Eine Folge der leichten Verschiebbarkeit der Theilchen ist es auch, daß die geringste Neigung des Flußbettes schon hinreicht, um ein Fließen zu veranlassen, und daß die Reibung am Boden nicht im Stande ist, die Strömung auf der Oberfläche zu hindern.

Wenn in dem Boden oder auch in der Seitenwand eines mit Wasser gefüllten Gefäßes ein Loch gemacht wird, so strömt hier das Wasser aus, wie man an jeder Waschbütte sehen kann, deren Zapfen man ausgestoßen hat.

In Fig. 95 stelle *A* ein Gefäß dar, in dessen Wand nahe am Boden ein

Fig. 95.



Loch *a* von 5 bis 7 Millimeter Durchmesser gebohrt, und mit einem Korkstopfen verschlossen ist (man kann dazu einen hölzernen Zuber anwenden, dessen Höhe 30 bis 40 Centimeter beträgt). Wird das Gefäß zum Theil mit Wasser gefüllt, und dann der Kork ausgezogen, so bildet der ausfließende Wasserstrahl eine krumme Linie *a b c*, Fig. 95. Während ein Wassertheilchen, welches in einem bestimmten Moment die Oeffnung *a* verläßt, sich in wagerechter Richtung um die Länge *ad* von der Oeffnung *a* entfernt, fällt es um die Länge *dc* von der Höhe der Oeffnung herab.

Die Tiefe der Oeffnung *a* unter dem Wasserspiegel im Gefäß *A* nennt man die Druckhöhe. Mit wachsender Druckhöhe wächst die wagerechte Geschwindigkeit des ausfließenden Strahles. Ist die Ausflußgeschwindigkeit dop-

pelt so groß als in dem eben betrachteten Falle, so beschreibt der Wasserstrahl den Weg *afg*, d. h. in derselben Zeit, in welcher ein Wassertheilchen von *a* bis zum Boden herabfällt, legt es in wagerechter Richtung den Weg *ah* zurück, welcher doppelt so groß ist als *ad*.

Wenn die Ausflußgeschwindigkeit 2 mal, 3 mal u. s. w. so groß sein soll, so muß die Druckhöhe $2 \times 2 = 4$ mal, $3 \times 3 = 9$ mal u. s. w. so groß sein. Es ist hier nicht der Ort, dies näher zu begründen.

Wenn sich die Mündung *a* hoch genug über dem Fußboden befindet, so erreicht das ausfließende Wasser denselben nicht als geschlossener durchsichtiger Strahl, vielmehr löst sich derselbe von einer bestimmten Stelle an in getrennte Tropfen auf, wie dies auch in der Figur angedeutet ist. Es hängt dies damit zusammen, daß die Fallgeschwindigkeit eines jeden Wassertheilchens stets kleiner ist als die gleichzeitige Geschwindigkeit eines Wassertheilchens, welches kurz vor ihm ausgeflossen ist, so daß das vorangehende Wassertheilchen dem folgenden mehr und mehr voraneilt.

Befindet sich an einem mit Wasser gefüllten Gefäße ein seitlicher Ansatz, in welchem eine nach oben gerichtete Oeffnung *o* angebracht ist, so springt das Wasser aus derselben senkrecht in die Höhe. Dieser aufsteigende Strahl erreicht aber nie die Höhe des Wasserspiegels im Gefäße; unter den günstigsten Verhältnissen ist die Steighöhe $^9/_{10}$ der Druckhöhe. Man kann den in Fig. 96 angedeuteten Versuch mit jedem Waschzuber anstellen, wenn man in die Oeffnung statt des Zapfens ein kurzes, nach außen verschlossenes Blechrohr, Fig. 97, einsetzt, in welchem bei *o* eine Oeffnung von 3 bis 5 Millimeter Durchmesser angebracht ist.

Fig. 96.

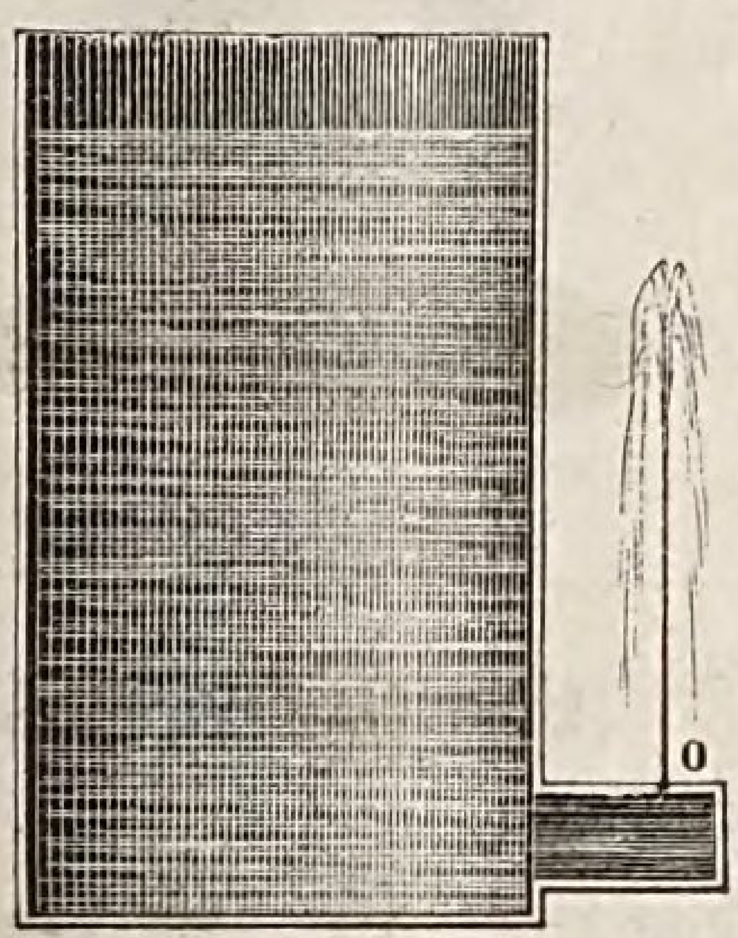
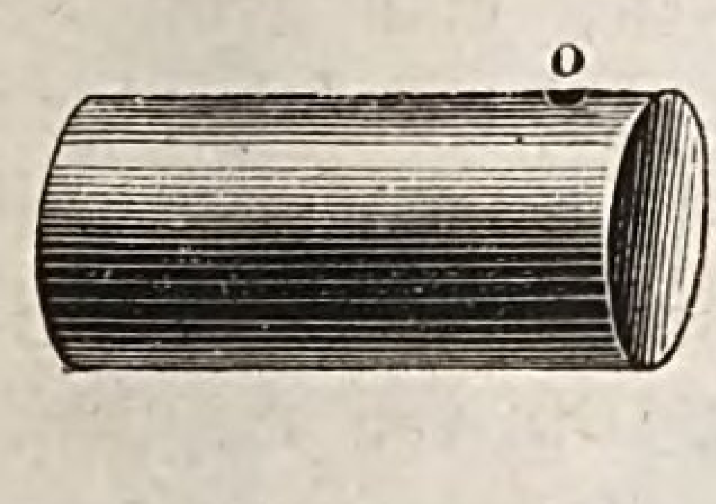


Fig. 97.



Bei den Springbrunnen wird das Wasser aus dem Behälter durch eine Röhrenleitung der Sprungöffnung (dem Mundstücke) zugeführt. Hier wird die Sprunghöhe im Verhältniß zur Druckhöhe um so kleiner, je länger und je enger die Röhrenleitung ist, weil eben die Reibung des Wassers an den Röhrenwänden einen großen Theil der Druckkraft in Anspruch nimmt.

Das in Gerinnen, Bächen, Flüssen u. s. w. herabströmende Wasser wird vielfach als mechanische Arbeitskraft benutzt, indem man seine Bewegung mehr oder weniger vollständig auf Wasserräder überträgt, deren Bau und Wirkungsweise hier nicht näher besprochen werden kann.

Schwere der Luft. Wir haben bereits in §. 3 gesehen, daß die luftförmigen Körper kein zusammenhängendes Ganzes bilden können, weil die Lufttheilchen sich gegenseitig möglichst weit aus einander zu treiben streben, und sie nur durch äußeren Druck zusammengehalten werden können; dessen ungeachtet unterliegt auch die Luft sowie alle übrigen gasförmigen Körper dem Gesetz der Schwere, d. h. 52

auch die Lufttheilchen werden durch die Schwere gegen die Erdoberfläche hingetrieben.

Um nun zu zeigen, daß die Luft wirklich schwer ist, wird ein Glasballon, Fig. 98, benutzt, dessen Hals mit einer Messingfassung versehen ist, welche auf eine Luftpumpe aufgeschraubt und durch einen Hahn verschlossen werden kann. Während der Hahn geöffnet ist, wird der Ballon luftleer gemacht, dann der Hahn geschlossen und der von der Luftpumpe abgeschraubte Ballon an dem einen Wagebalken aufgehängt. Nachdem nun auf der anderen Seite der Wage so viel Gewicht aufgelegt worden ist, daß es dem luftleeren Ballon das Gleichgewicht hält, wird der Hahn geöffnet, so daß nun Luft in den leeren Ballon einströmen kann. Ist der Ballon nun wieder mit Luft gefüllt, so senkt sich der Arm, an welchem er hängt, ein Beweis, daß der lufterfüllte Ballon schwerer ist als der luftleere.

Fig. 98.

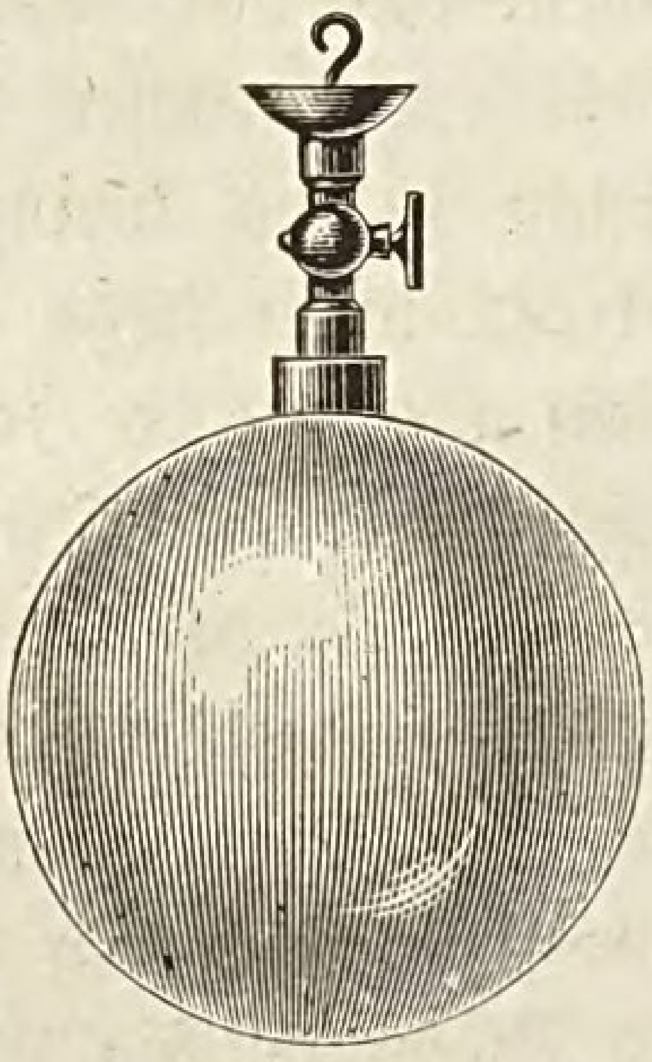


Fig. 99.

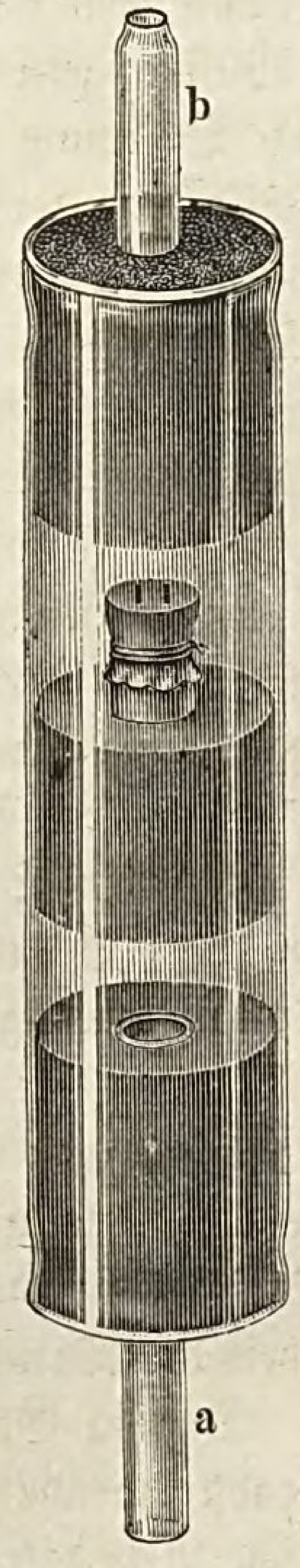
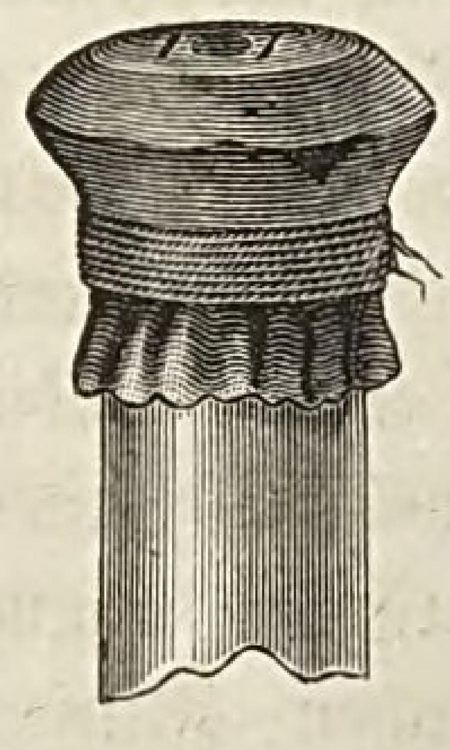


Fig. 100.



Fig. 101.



Ein solcher Ballon mit Fassung, wie er in Fig. 98 abgebildet ist, ist immerhin etwas kostspielig, man kann den Versuch aber auch mit weit einfacheren Mitteln ausführen; man kann nämlich den Hahn in folgender Weise durch ein Ventil ersetzen. Man wähle einen Ballon, Fig. 100, von möglichst dünnem Glase und geradem Halse aus, dessen Rauminhalt 500 bis 1000 Kubikcentimeter beträgt. Der Hals wird sorgfältig mit einem wohlschließenden Kork zugestopft, welcher in seiner Mitte durchbohrt ist. Das durch den Kork gehende Loch mag ungefähr 2 Millimeter Durchmesser haben. Ueber den Kork, dessen obere Fläche eine vollkommen ebene und glatte sein muß, wird nun ein Stück Wachstaffent oder auch eine recht dünne Platte von Kautschuk gebunden, wie es Fig. 101 zeigt. Auf diese Weise ist der innere Raum des Ballons vollkommen von der äußeren Luft abgesperrt.

Neben der Stelle, welche das Loch im Kork bedeckt, werden nun zwei Einschnitte in den Wachstaffet gemacht, wie man Fig. 101, sieht, und so der Ballon mit einem Ventil versehen, durch welches Luft aus dem Ballon austreten, aber nicht eintreten kann.

Um den Versuch anzustellen, wägt man zunächst den lufterfüllten Ballon, bringt ihn dann unter die Glocke einer Luftpumpe, die alsdann in Thätigkeit gesetzt wird. In dem Maße, als die Luft aus der Glocke ausgepumpt wird, hebt sich das Ventil Fig. 101, um Luft aus dem Glaskolben austreten zu lassen, der auf diese Weise mehr und mehr von Luft entleert wird, bis die Verdünnung so weit getrieben ist, bis die wenige noch im Ballon zurückbleibende Luft nicht mehr im Stande ist, das Ventil zu heben. Wird jetzt die äußere Luft wieder unter die Luftpumpenglocke eingelassen, so drückt sie den Wachstaffent fest auf das Loch im Kork, so daß keine Luft in den Ballon eintreten kann.

Wird endlich der entleerte Ballon gewogen, so findet man, daß er etwas weniger wiegt als vorher. Für einen Ballon von 1 Liter (1000 Kubikcentimeter) Inhalt beträgt der Unterschied der beiden Wägungen gegen 1 Gramm.

Um den Versuch in der erwähnten Weise anzustellen, muß eben ziemlich viel Luft ausgepumpt werden, nämlich nicht allein die Luft im Glaskolben, Fig. 100, sondern auch die Luft, welche sich unter der darüber gestülpten Glocke befindet.

Fig. 102.

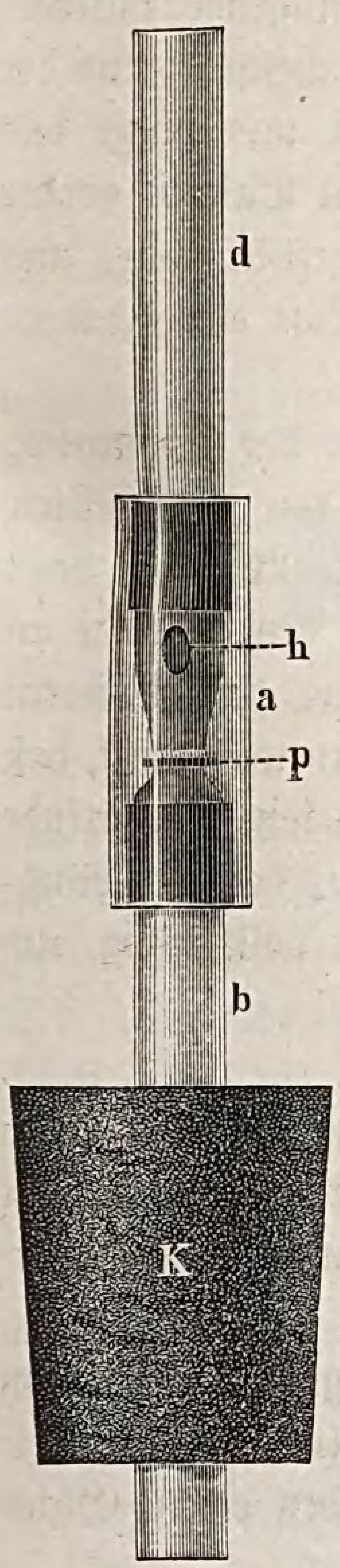
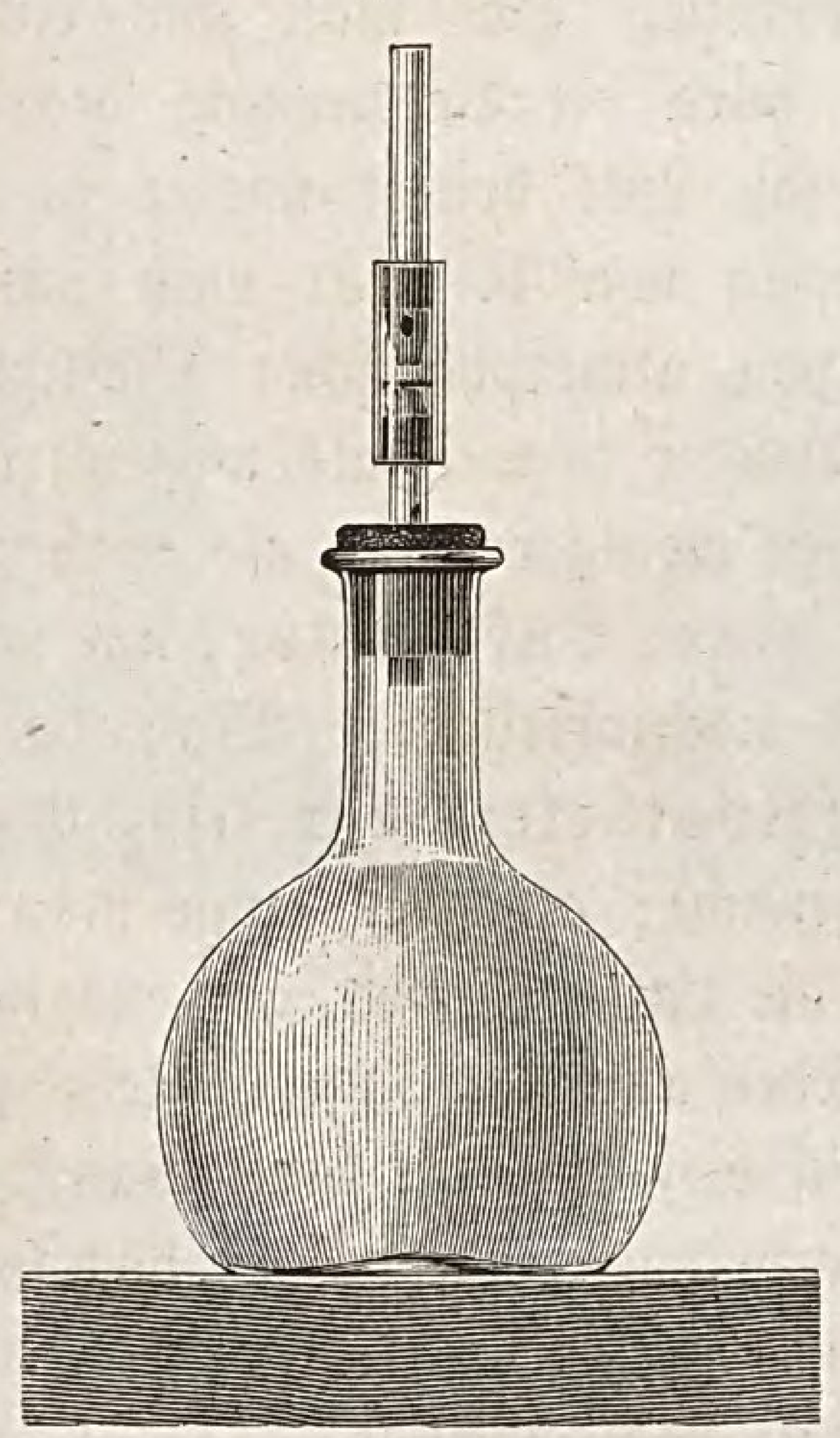


Fig. 103.



Dazu ist immerhin schon eine kräftig wirkende Luftpumpe nöthig; mit einer kleinen Handluftpumpe müßte man gar zu lange auspumpen, um das Ziel zu erreichen. In diesem Falle ist es wünschenswerth, die Glocke ganz zu vermeiden, so daß man nur den Glaskolben auszupumpen hat. Man erreicht dies durch eine Vorrichtung, welche in Fig. 99 ungefähr in $^1/_2$ der natürlichen Größe dargestellt ist. Ein Ventil der oben beschriebenen Art ist am oberen Ende eines kurzen Glasröhrchens angebracht und mittelst eines gut schließenden Korkes in der Mitte einer weiteren Glasröhre befestigt. Oben sowohl wie unten ist diese weitere Glasröhre abermals durch einen guten Kork geschlossen; durch den unteren geht luftdicht schließend die Glasröhre *a* hindurch, welche mittelst eines Korkes in den Hals des Ballons eingesetzt wird, während die Glasröhre *b* mit der Luftpumpe in Verbindung gesetzt wird.

Um die Schwere der Luft nachzuweisen, ist übrigens allen

oben beschriebenen Vorrichtungen der in Fig. 103 (v. S.) dargestellte Apparat noch vorzuziehen.

In dem wohl schließenden Kork, welcher in den Hals eines Glaskolbens von $1/2$ bis 1 Liter Inhalt eingesetzt ist, steckt nämlich die nur wenig wiegende Ventilvorrichtung, welche in Fig. 102 (v. S.) in natürlicher Größe dargestellt ist. In der kurzen Glasröhre *a* steckt einerseits das Glasröhrchen *b*, andererseits das Glasröhrchen *d*, deren äußerer Durchmesser beinahe so groß ist, wie der innere Durchmesser von *a*; beide aber sind in *a* luftdicht eingekittet. Das obere Ende von *b* sowohl wie das untere Ende von *d* sind etwas eingezogen und mit einer ebenen Endfläche versehen. Auf der oberen Oeffnung des Röhrchens *b* liegt ein Scheibchen von Kautschuk, welches beinahe den inneren Querschnitt des Röhrchens *a* ausfüllt, aber doch noch einen kleinen Zwischenraum zwischen dem Rande des Plättchens und der Röhrenwand frei läßt. Ganz nahe über dem Plättchen *p* mündet das untere Ende der Röhre *d*, welche bei *h* mit einer kleinen seitlichen Oeffnung versehen ist.

Die Vorrichtung, Fig. 102, wird nun mittelst des Korkes *K* luftdicht in den Hals des Kolbens eingesetzt und das Röhrchen *d* in passender Weise mit der Luftpumpe in Verbindung gesetzt. Wird nun die Luft mittelst der Luftpumpe aus dem Röhrchen *d* herausgezogen, so wird das Plättchen *p* durch den Druck der Luft im Ballon gehoben und die aus dem Ballon austretende Luft entweicht durch *h* und die Röhre *d* nach der Luftpumpe. Hat man nun eine genügende Luftverdünnung im Ballon erzeugt, so wird die Verbindung des Röhrchens *d* mit der Luftpumpe gelöst, die atmosphärische Luft dringt wieder in *d* ein und preßt das Plättchen *p* fest auf die Mündung von *b*. Hat man nun den Ballon vorher gewogen, als er noch mit Luft von atmosphärischer Dichtigkeit gefüllt war, und wiegt man ihn jetzt wieder, nachdem er so weit als möglich von Luft entleert worden ist, so findet man, daß er jetzt weniger wiegt als vorher.

Es bedarf nicht einmal einer Luftpumpe, um mittelst des Apparates, Fig. 103, die Schwere der Luft nachzuweisen. Man bringe den lufterfüllten Ballon auf einer guten Wage (Apothekerwage, eine chemische Wage ist dazu nicht einmal nöthig) ins Gleichgewicht; alsdann sauge man mit dem Munde an dem oberen Ende der Röhre *d* die Luft so weit als möglich aus dem Apparat heraus. Setzt man ihn nun wieder auf die Wage, so zeigt sich unzweifelhaft, daß er jetzt leichter geworden ist. Auf diesem Wege kann man freilich keine bedeutende Luftverdünnung im Ballon hervorbringen, man kann höchstens $1/4$ der ursprünglich im Ballon enthaltenen Luft herausziehen; es genügt dies aber vollständig, um das Gewicht der ausgesaugten Luft nachzuweisen.

53 **Der Luftdruck.** Da die Luft schwer ist, so muß sie nothwendig einen Druck auf alle Körper ausüben, welche sich am Boden des Luftmeeres, also auf der Erdoberfläche, befinden, oder mit anderen Worten, jeder Körper auf der Erdoberfläche hat den Druck der auf ihm lastenden Luftsäule zu tragen.

Von dem Vorhandensein eines solchen Luftdrucks überzeugt man sich am besten auf folgende Weise: In ein mit Wasser gefülltes Gefäß (etwa ein Trinkglas) tauche man eine 60 bis 70 Centimeter lange, an beiden Enden offene Glas-

röhre von $1/2$ bis 1 Centimeter Durchmesser ein, so wird der Spiegel des Wassers in und außer der Röhre gleich hoch stehen. Saugt man nun aber am oberen

Fig. 104.

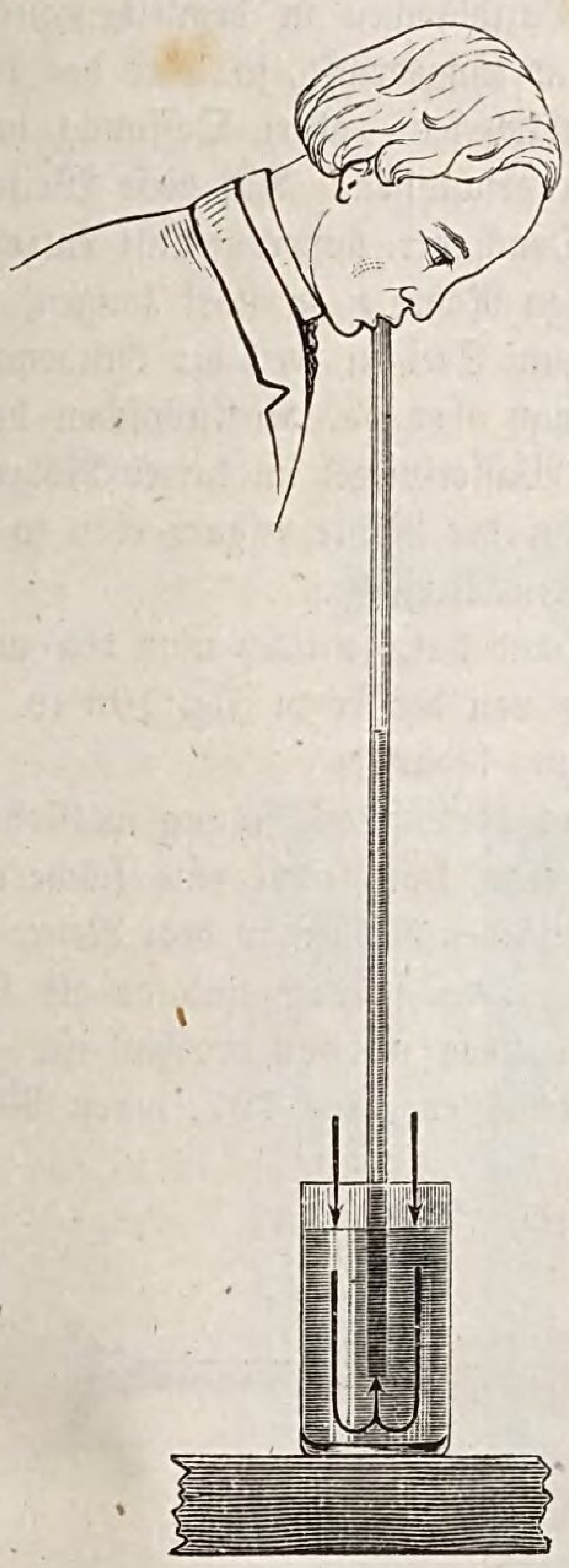


Fig. 105.

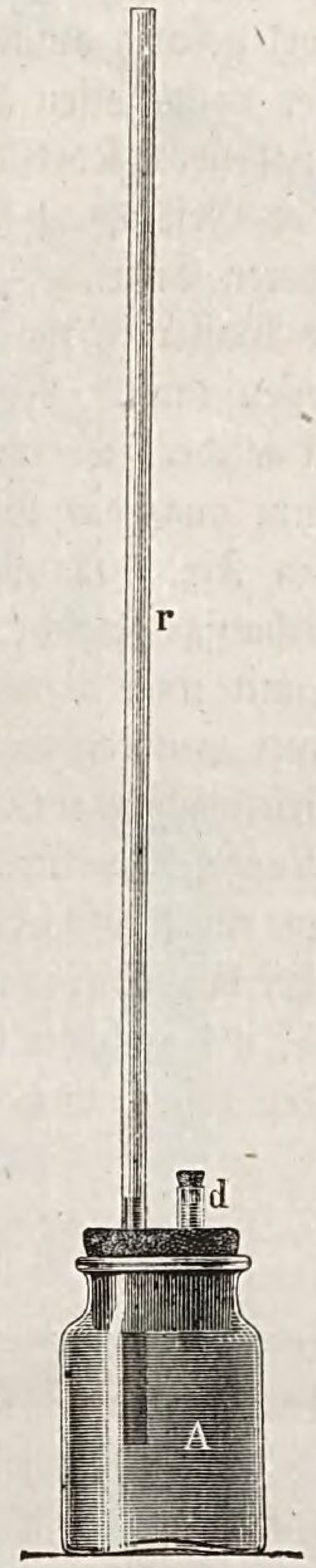
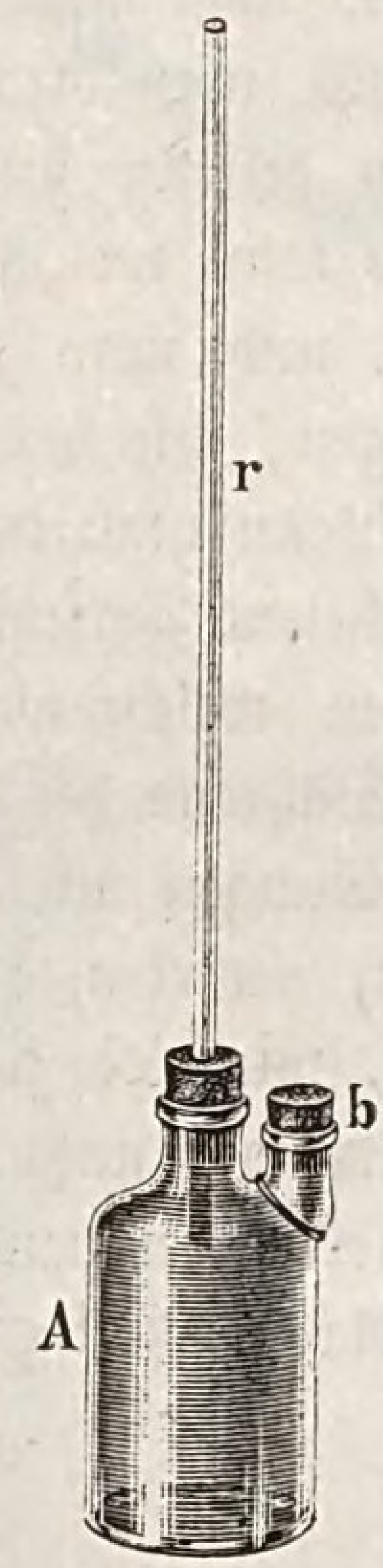


Fig. 106.



Ende der Röhre, wie es Fig. 104 andeutet, so steigt das Wasser in der Röhre und man kann es leicht bis ans obere Ende der Röhre hinaufsaugen. Es ist dies aber lediglich die Wirkung des auf dem äußeren Wasserspiegel (Niveau) lastenden Luftdrucks. Durch das Saugen mit dem Munde wird ein Theil der Luft, welcher sich vorher im Innern der Röhre befand, aus der Röhre herausgezogen, der Druck der Luft, welcher vorher auf dem Wasser im Innern der Röhre gelastet hatte, wird vermindert, der äußere Luftdruck gewinnt das Uebergewicht und preßt, durch die Wassermasse sich fortpflanzend, das Wasser von unten her in die Röhre hinein.

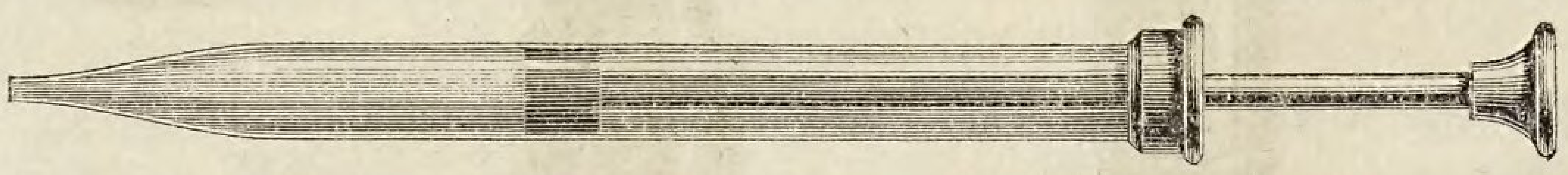
Daß hier der Luftdruck wirklich die eben angedeutete Rolle spielt, läßt sich leicht dadurch beweisen, daß man den äußeren Luftdruck abhält, wie es in folgender Form des Versuchs geschieht. Man fülle ein etwas großes und weites Opodeldokglas ganz mit Wasser und setze dann in seinen Hals einen sehr gut schließenden Kork ein, in welchem, wie Fig. 105 zeigt, zwei gegen 4 Millimeter weite,

oben und unten offene Glasröhren stecken; die längere ragt etwas weiter in das Glasgefäß hinab, die kürzere ragt oben und unten nur wenig aus dem Korkstopfen hervor. — Es kommt sehr darauf an, daß das Glasgefäß ganz mit Wasser gefüllt ist, daß höchstens ganz kleine Luftbläschen in demselben zurückbleiben. Hat man den Kork gehörig aufgesetzt und eingedrückt, so wird das kurze Röhrchen noch mit Wasser vollgegossen und endlich seine obere Oeffnung bei *d* durch ein vollkommen schließendes Korkstöpfchen geschlossen. Auf diese Weise ist das Wasser im Innern des Gefäßes *A* dem Druck der äußeren Luft entzogen, und nun mag man am oberen Ende der längeren Röhre *r* so stark saugen, wie man will, man bringt das Wasser in ihr nicht zum Steigen, weil der Luftdruck es nicht in dieselbe hineinpressen kann. Nimmt man aber das Korkstöpfchen bei *d* weg, so kann der Luftdruck wieder frei auf den Wasserspiegel im kurzen Röhrchen wirken, und man kann nun auch das Wasser in der Röhre *r* ganz eben so gut aufsaugen, wie bei dem in Fig. 104 abgebildeten Versuche.

Wenn man eine zweihalsige Flasche zur Hand hat, so kann man den zuletzt besprochenen Versuch auch mit einer Vorrichtung von der Form Fig. 106 (v. S.) anstellen, welche wohl keiner weiteren Erläuterung bedarf.

Während bei dem eben beschriebenen Versuch die Luftverdünnung im Rohre *r* durch Saugen mit dem Munde bewerkstelligt wurde, kann man eine solche auch dadurch bewirken, daß man einen luftdicht schließenden Kolben in dem Rohre anbringt, wie dies sowohl bei den Spritzbüchsen, die ja hier und da als Kinderspielzeug benutzt werden, als auch bei den Klystierspritzen der Fall ist. Zur Erläuterung eignen sich am besten solche Spritzbüchsen, Fig. 107, deren Röhre aus Glas verfertigt ist.

Fig. 107.



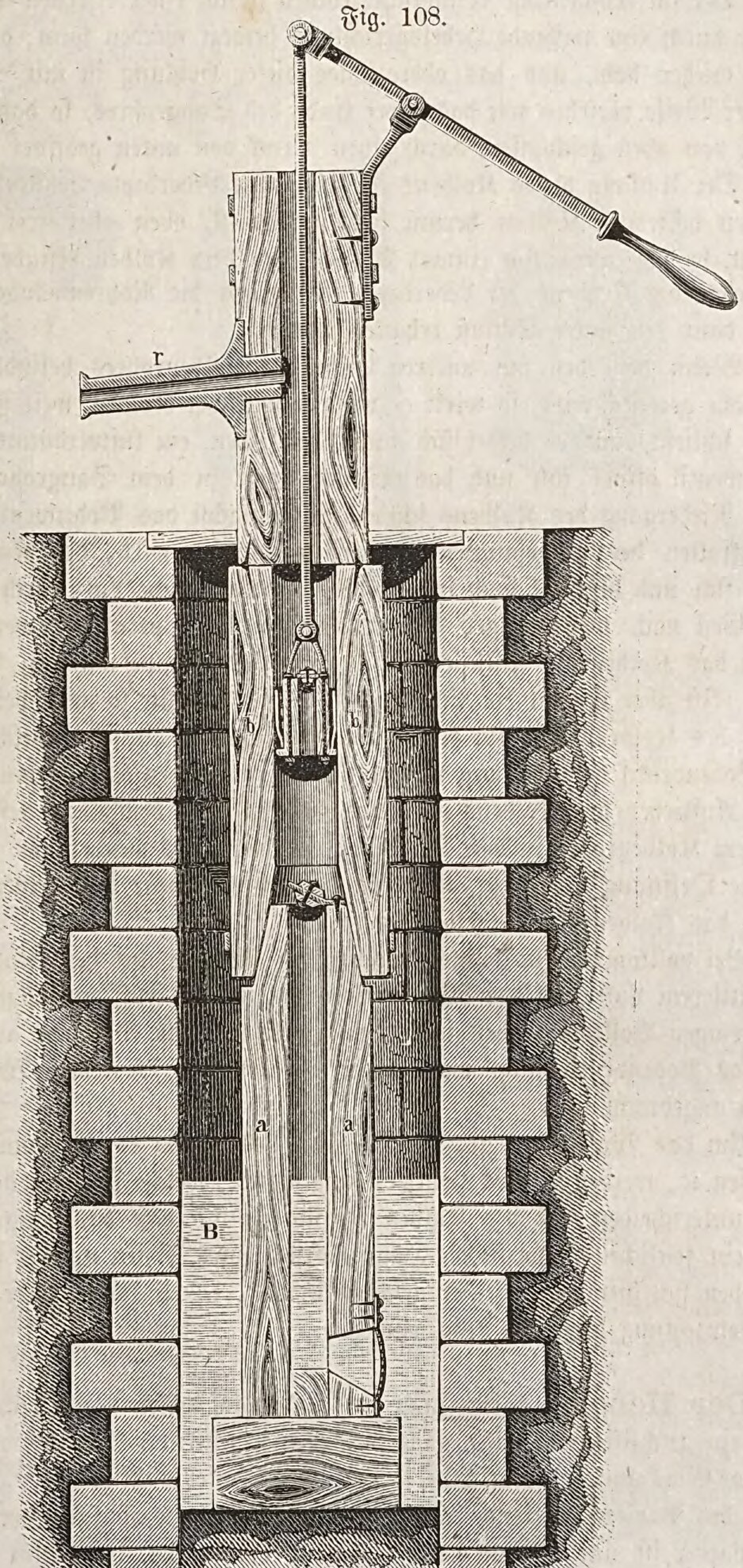
Wenn die Röhrenspitze in Wasser eingetaucht ist, während der Kolben seine tiefste Stellung hat, so wird das Wasser in dem Rohre aufsteigen, sobald man den Kolben in die Höhe zieht.

Dasselbe Princip wird auch bei den Pumpen zur Hebung bedeutenderer Wassermengen angewandt. Fig. 108 stellt eine Saugpumpe der einfachsten Construction dar. Das hölzerne Saugrohr *a* steht in dem Brunnenschacht, und zwar geht es unter den Spiegel des in der Tiefe sich sammelnden Wassers *B* hinab. Das Wasser kann durch eine seitliche Oeffnung, welche zur Abhaltung von Unreinigkeiten durch ein Sieb verschlossen ist, in das Saugrohr eintreten. Auf das nach Umständen kürzere oder längere, aus einem oder mehreren Stücken bestehende Saugrohr *a* ist nun das etwas weitere, zwischen 2 und 3 Fuß hohe, genau cylindrisch ausgebohrte Kolbenrohr *b* aufgesetzt, in welchem ein Kolben luft- und wasserdicht schließend auf- und abbewegt werden kann.

Das obere Ende des Saugrohrs *a* ist durch ein Ventil (hier eine in der

Mitte mit Metall beschlagene Lederklappe) bedeckt, welches durch einen Druck von unten gehoben, also geöffnet, durch einen Druck von oben aber fest auf die Oeff=

Fig. 108.



nung aufgedrückt, also geschlossen wird. Dieses Ventil bildet gewissermaßen den Boden des Kolbenrohrs *b* und wird deshalb das **Bodenventil** genannt.

Der im Kolbenrohr befindliche Kolben ist an einer eisernen Stange befestigt, welche durch eine passende Hebelvorrichtung bewegt werden kann; dieser Kolben ist selbst wieder hohl, und das obere Ende dieser Höhlung ist mit einem Ventil in gleicher Weise versehen wie das obere Ende des Saugrohres, so daß es durch einen Druck von oben geschlossen, durch einen Druck von unten geöffnet wird.

Der Umfang dieses Kolbens ist durch eine Lederkappe gebildet, welche unten um den hölzernen Kolben herum festgenagelt ist, oben aber frei von demselben absteht, so daß, wenn sich einmal Wasser über dem Kolben befindet, dasselbe beim Aufziehen des Kolbens die Lederkappe fest gegen die Röhrenwände anpreßt, wodurch dann ein guter Schluß erhalten wird.

Wenn der eben am unteren Ende des Kolbenrohres befindliche Kolben in die Höhe gezogen wird, so wirkt er wie ein massiver Kolben, weil sich das Kolbenventil schließt, und es bildet sich unter demselben ein luftverdünnter Raum; das Bodenventil öffnet sich und das Wasser steigt in dem Saugrohre in die Höhe. Beim Niedergang des Kolbens schließt sich zunächst das Bodenventil, wodurch das Zurückfallen des aufgesaugten Wassers verhindert wird, das Kolbenventil aber öffnet sich und läßt die noch im Kolbenrohre befindliche Luft durch.

Erst nach mehrmaliger Wiederholung dieser Operation, wenn das Wasser bis in das Kolbenrohr gestiegen ist, beginnt die Pumpe wirklich, Wasser zu fördern. Ist aber einmal die Pumpe mit Wasser gefüllt, so wird bei jedem Niedergange des Kolbens das im Kolbenrohre befindliche Wasser, welchem nun durch das Bodenventil der Rückweg verschlossen ist, durch den Kolben hindurchgehen; bei jedem Aufziehen des Kolbens wird das bereits über demselben befindliche Wasser aus dem Kolbenrohre in das Steigrohr gehoben, aus welchem es dann durch die seitliche Oeffnung *r* abfließt, während zugleich eine neue Wassermenge von unten her in das Kolbenrohr aufgesaugt wird.

Bei vollkommen luftdichtem Schluß des Kolbens und der Ventile würde man bei mittlerem Luftdruck das Wasser nahe bis zu 32 Fuß aufsaugen können; bei der geringen Vollkommenheit jedoch, mit welcher solche Pumpen ausgeführt sind, darf das Bodenventil nicht wohl mehr als 20 Fuß über dem Wasserspiegel im Bassin angebracht sein.

Um das Wasser auf größere Höhe zu heben, um es in Dampfkessel hineinzupressen ꝛc., werden **Druckpumpen** angewandt, welche sich von den vorigen dadurch unterscheiden, daß der Kolben massiv ist und daß das aufgesaugte Wasser durch ein seitliches Rohr in die Höhe gedrückt wird, dessen unteres Ende durch ein nach oben sich öffnendes Ventil geschlossen wird. Wir können hier auf eine weitere Betrachtung derselben nicht eingehen.

54 **Der Heber.** Wenn man ein Trinkglas, dessen Rand recht eben ist (am besten ein geschliffenes Glas), ganz mit Wasser füllt, ein Papier darauf deckt und dann das Glas umkehrt, Fig. 109, so läuft das Wasser nicht aus; der gegen die untere Fläche des Papiers wirkende Luftdruck hindert das Herabfallen der Wassermasse. Das Papier ist nur deshalb nöthig, um zu verhindern, daß beim Umkehren des

Glases das Wasser an den Seiten ausläuft und statt dessen Luft in das Gefäß eindringt. Wenn die untere Oeffnung klein genug ist, um ein solches Auslaufen zu verhindern, wie dies beim Stechheber der Fall ist, so ist das Papier nicht mehr nöthig. Der Stechheber ist gewöhnlich ein röhrenförmiges Gefäß, Fig. 110 und 111, welches oben und unten etwas enger und an beiden Enden offen ist.

Fig. 109.



Fig. 110.

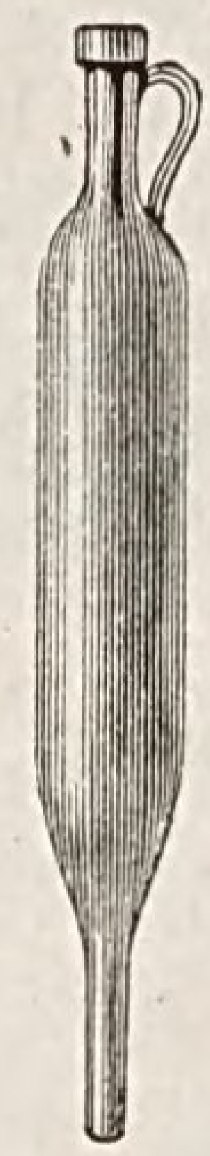


Fig. 111.

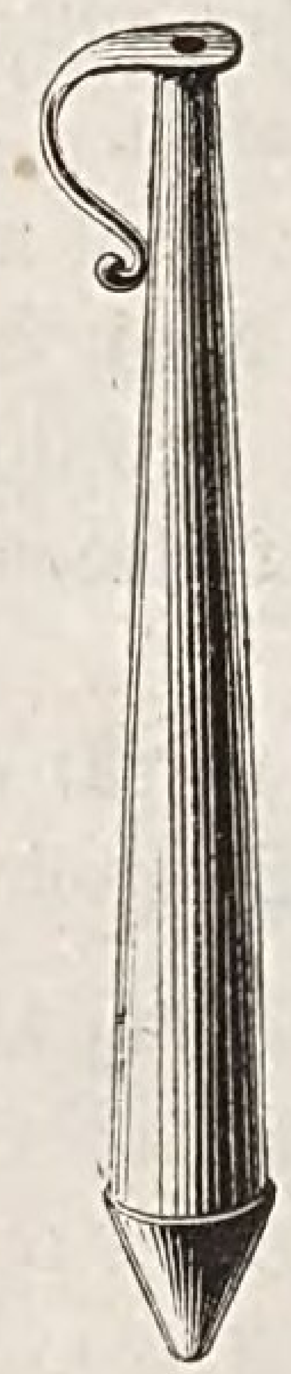
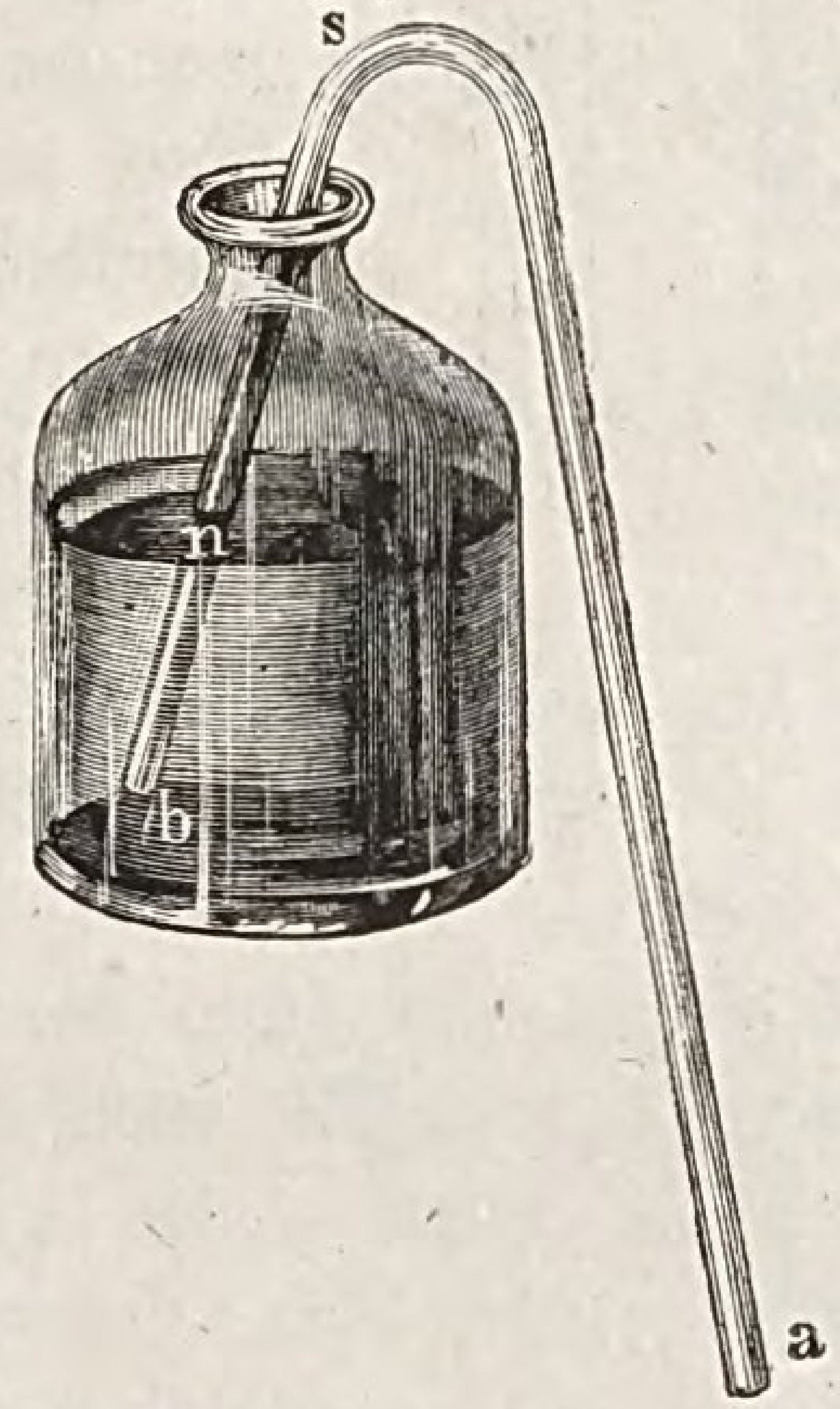


Fig. 112.



Taucht man es, wenn beide Oeffnungen frei sind, ganz in eine Flüssigkeit, so füllt es sich mit derselben, und wenn man nun die obere Oeffnung mit dem Daumen verschließt, so kann man den Stechheber in die Höhe ziehen, ohne daß die in demselben enthaltene Flüssigkeit ausläuft.

Der Heber ist eine gekrümmte Röhre, *bsa*, Fig. 112, deren Schenkel ungleiche Länge haben. Wenn der kürzere Schenkel in eine Flüssigkeit eingetaucht ist und man die ganze Röhre durch Saugen bei *a* mit derselben gefüllt hat, so läuft sie am Ende *a* des längeren Schenkels, welches tiefer liegt als *b*, fortwährend aus; man kann also mit Hülfe eines Hebers leicht ein Gefäß entleeren. Die Wirkung des Hebers ist leicht zu erklären. Auf der einen Seite hat die Wassersäule *sa*, auf der anderen die Wassersäule von *s* bis zum Spiegel der Flüssigkeit im Gefäß ein Bestreben, vermöge ihrer Schwere herabzufallen; der Schwere der in beiden Schenkeln befindlichen Wassersäulen wirkt aber auf beiden Seiten der Luftdruck entgegen, welcher auf der einen Seite gegen die Oeffnung *a*, auf der anderen aber auf den Spiegel des Wassers im Gefäß wirkt und dadurch die Bildung eines leeren Raumes im Innern der Röhre verhindert, welcher sich nothwendigerweise bei *s* bilden würde, wenn die Wassersäulen auf beiden Seiten herabliefen. Da der Luftdruck auf der einen Seite so stark wirkt, wie auf der anderen, so würde vollkommenes Gleichgewicht stattfinden, wenn die Wassersäulen in den beiden Schenkeln gleich hoch wären, wenn sich also die Oeffnung *a* in der Höhe des Wasserspiegels im Gefäße befände; sobald aber *a* tiefer liegt, erhält die Wassersäule im Schenkel *sa* das Uebergewicht und in dem Maße, als hier das Wasser ausläuft, wird auf der anderen Seite durch den Luftdruck von Neuem Wasser in die Röhre hineingetrieben, so daß das Ausfließen bei *a* fortdauert, bis der Spiegel der Flüssigkeit im Gefäß auf die Höhe der Oeffnung *b* gefallen ist.

Um den Heber bequem füllen und in Wirksamkeit setzen zu können, wird an demselben eine Saugröhre *at*, Fig. 113, angebracht. Einen gewöhnlichen Heber füllt man nämlich dadurch, daß man bei *a*, Fig. 112, saugt; dabei ist aber nicht zu vermeiden, daß man etwas von der Flüssigkeit in den Mund bekommt, was in manchen Fällen unangenehm, oft sogar gefährlich sein kann, wie z. B. wenn man den Heber anwenden will, um ein Gefäß mit Schwefelsäure zu entleeren. In einem solchen Falle ist das Saugrohr unentbehrlich; wenn man die Röhre bei *b'*, Fig. 113, verschließt, so kann man durch Saugen bei *t* den ganzen Heber *bsb'* füllen, ohne daß die Flüssigkeit an den Mund kommt. Das Auslaufen beginnt alsdann, sobald man das Röhrenende *b'* wieder öffnet.

Fig. 113.

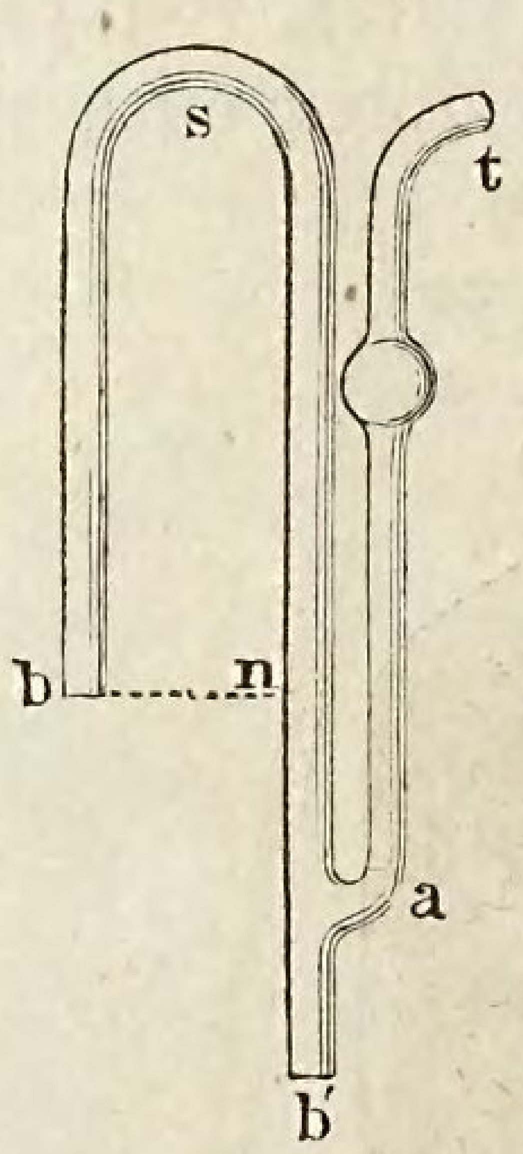
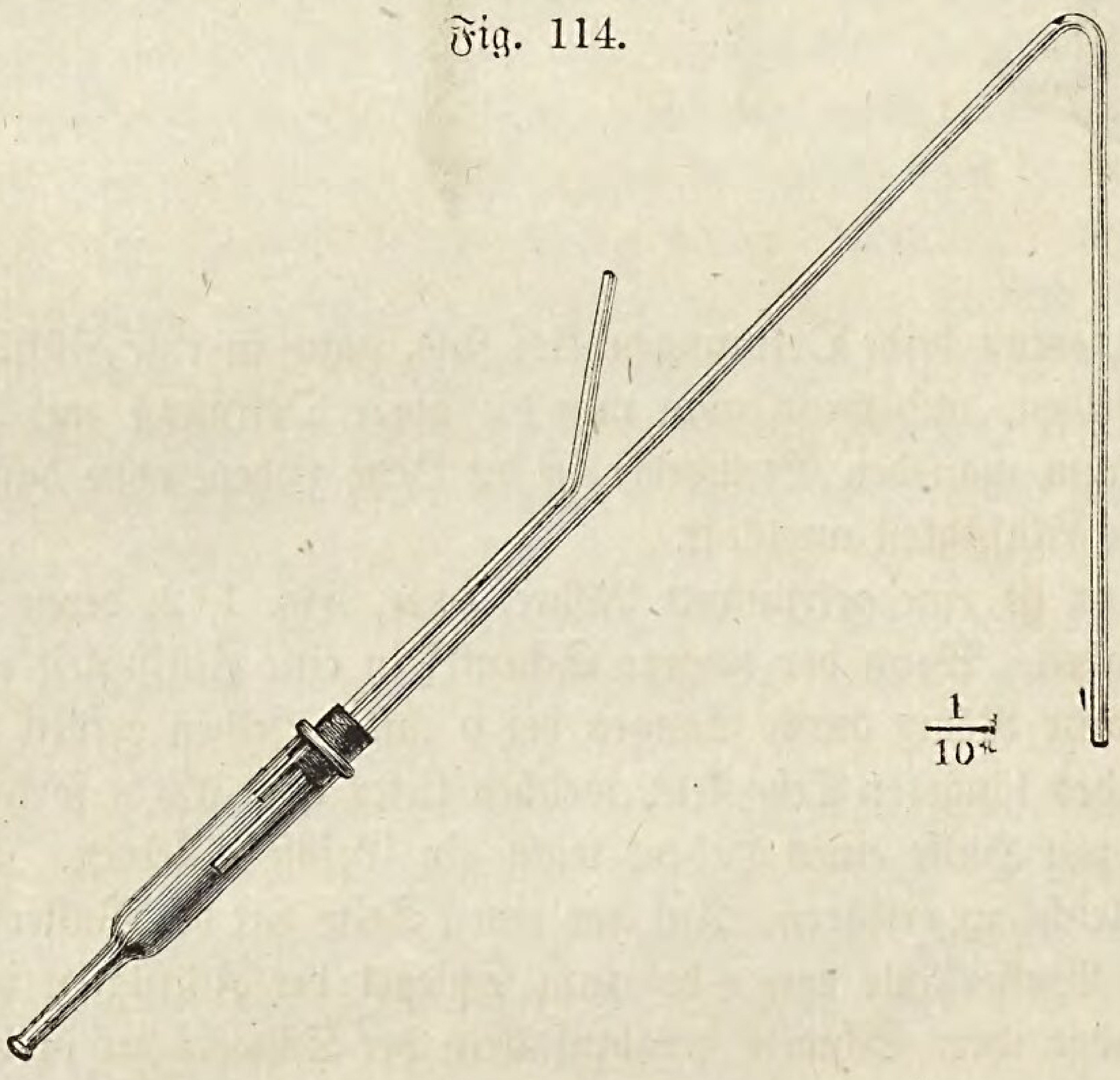


Fig. 114 stellt eine andere, leicht herzustellende Form des Hebers mit Saugrohr dar.

Fig. 114.



55 **Das Barometer.** Könnte man eine Pumpe mit vollkommen schließenden Ventilen construiren, so könnte man mit derselben eine Wassersäule von ungefähr 1033 Centimetern (10 Meter und 33 Centimeter) Höhe aufsaugen. Das Eigengewicht des Quecksilbers ist $13^6/_{10}$ mal so groß als das des Wassers, folglich könnte man mit einer vollkommen gut schließenden Pumpe das Quecksilber bis zu einer Höhe aufsaugen, welche $13^6/_{10}$ mal kleiner ist als 1033 Centimeter. Führt man die Rechnung aus, so ergiebt sich für die Höhe, bis zu welcher Quecksilber aufgesaugt werden kann, $1033 : 13^6/_{10} = 76$ Centimeter, d. h. der Druck der Atmosphäre wird im Stande sein, einer Quecksilbersäule von 76 Centimeter Höhe das Gleichgewicht zu halten.

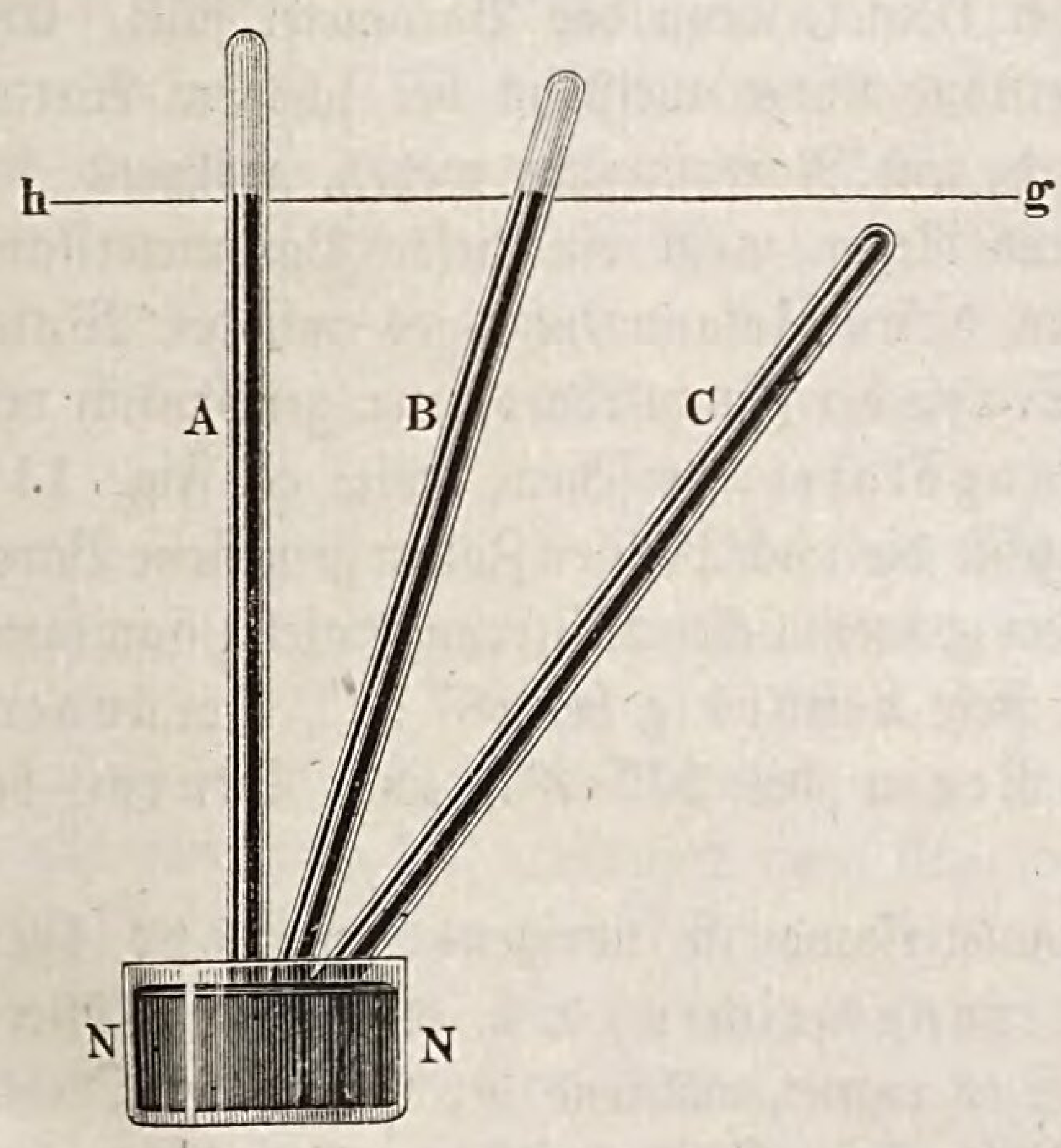
Von der Richtigkeit dieses Satzes kann man sich in folgender Weise überzeugen: Man fülle eine Glasröhre von 80 bis 90 Centimeter Länge, welche an

einem Ende zugeschmolzen ist, mit Quecksilber, schließe das offene Ende mit dem Finger, kehre sie um und tauche das mit dem Finger verschlossene Ende in das Quecksilber des Gefäßes *N*, Fig. 115. Zieht man jetzt den Finger von der Mündung des Glasrohres *A* weg, so fällt das Quecksilber um einige Centimeter, so daß der Gipfel der Quecksilbersäule im Rohre *A* noch ungefähr 76 Centimeter hoch über dem Spiegel des Quecksilbers im Gefäße *N* steht.

Der Raum zwischen dem Gipfel der Quecksilbersäule im Rohre *A* und dem oberen zugeschmolzenen Ende derselben ist luftleer. Wir wollen diesen Raum die Barometerleere nennen.

Wäre bei diesem Versuche die Röhre nur 70 oder nur 60 Centimeter lang gewesen, so würde sie nach dem Wegziehen des Fingers von der in Quecksilber untergetauchten Mündung ganz mit Quecksilber gefüllt geblieben sein. Das Gleiche läßt sich auch zeigen, wenn man die über 80 Centimeter lange ursprünglich senkrecht gestellte Röhre *A*, Fig. 115, allmälig neigt; dabei bleibt der Gipfel der Quecksilbersäule im Rohre stets in der gleichen Höhe, d. h. stets in der Höhe der wagerechten Linie *hg*. Je mehr man also die Röhre neigt, desto kleiner wird der luftleere Raum über dem Gipfel der Quecksilbersäule, und wenn endlich das Rohr so weit geneigt ist, daß, wie bei *C*, sein Gipfel unter der Wagerechten *hg* liegt, so wird es wieder vollständig mit Quecksilber gefüllt sein.

Fig. 115.

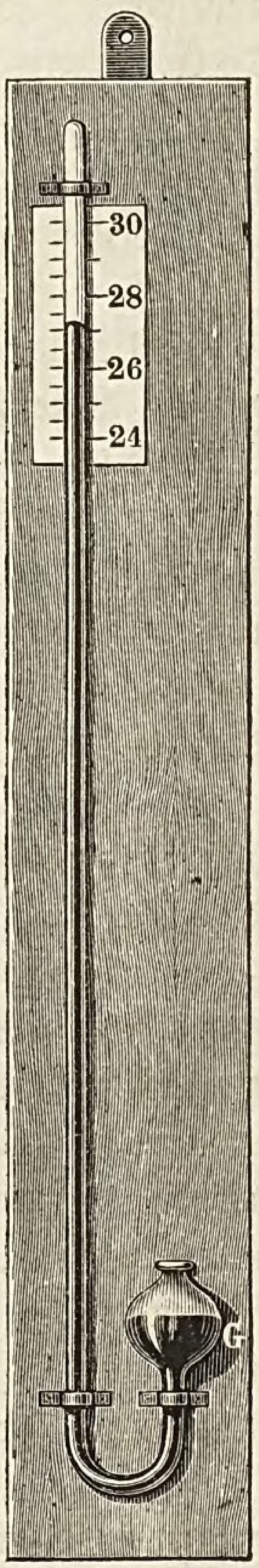


Die Vorrichtung, Fig. 115, mit dem aufrechtstehenden aber luftleeren, in das Quecksilber des Gefäßes *N* eintauchenden Rohre *A* ist die ursprüngliche Form des Barometers. Für den gewöhnlichen Gebrauch ist aber ein solches Barometer gar unbequem, weil das Gefäß *N* mit dem Rohre *A* nicht fest verbunden ist. Bei den gewöhnlichen Barometern ist das Rohr mit dem Gefäße zu einem einzigen Stücke verbunden, wie Fig. 116 (a. f. S.) erläutert. Das Gefäß *G* muß oben wenigstens mit einer kleinen Oeffnung versehen sein, durch welche die atmosphärische Luft auf das Quecksilber im Gefäße drücken und dem Gewichte der im längeren, oben luftleeren Rohre befindlichen Quecksilbersäule das Gleichgewicht halten kann.

Barometerrohr und Gefäß sind auf einem Brette befestigt, welches in der Gegend des oberen Quecksilberspiegels mit einer Scala versehen ist, deren Zahlen angeben, wie hoch der entsprechende Punkt über dem Spiegel des Quecksilbers im Gefäß liegt; die mit 24, 26 und 28 bezeichneten Theilstriche liegen also 24, 26 und 28 Zoll hoch über dem Spiegel des Quecksilbers in *G*. Bei der in unserer

Figur dargestellten Höhe der Quecksilbersäule im Rohre steht der Gipfel derselben ungefähr $27^1/_4$ Zoll hoch über dem Spiegel des Quecksilbers im Gefäße *G* oder mit anderen Worten: die Barometerhöhe beträgt $27^1/_4$ Zoll ($27^1/_4$ Zoll $= 74^1/_2$ Centimeter).

Fig. 116.



Wenn man den Stand des Barometers einige Tage lang beobachtet, so zeigt sich, daß der Gipfel der Quecksilbersäule fortwährenden Schwankungen unterworfen ist; bald steigt derselbe auf 28″ und darüber, bald sinkt er wieder, um unter Umständen bis auf 26″ herabzufallen.

Daraus geht nun zunächst hervor, daß der Druck, welchen die Atmosphäre vermöge der Schwere der Luft auf die Erdoberfläche ausübt, durchaus nicht unveränderlich ist, daß er vielmehr bald größer wird, wenn das Barometer steigt, bald wieder kleiner, wenn das Barometer fällt. Ein hoher Barometerstand findet meistens bei schönem Wetter statt, wenn Nord- und Nordostwinde wehen, während bei Südwestwind und Regen meist ein tiefer Barometerstand herrscht. Wegen dieses Zusammenhanges mit der Witterung sind die Scalen der Zimmerbarometer gewöhnlich mit einer Witterungstafel versehen, wie es Fig. 117 erläutert, in welcher die nach Pariser Zollen gemessene Barometerhöhe mit der gewöhnlichen Witterungstafel zusammengestellt ist. So steht beständig bei 28″ 9‴, Veränderlich bei 28″, Regen bei 27″ 3‴ und Sturm bei 26″ $10^1/_2$″.

Der Barometerstand ist übrigens durchaus kein sicheres Witterungszeichen, d. h. es kann wohl öfters vorkommen, daß es regnet, während der Gipfel der Quecksilbersäule im Rohre bei „Schön“ steht, während es schönes Wetter ist, wenn ein anderes mal das Barometer auf „Wind“ steht. Die Bedeutung der Witterungstafel an Barometern ist also keineswegs eine stets sichere, sondern nur eine durchschnittliche, d. h. durchschnittlich haben wir schönes Wetter bei hohem und schlechtes Wetter bei tiefem Barometerstand.

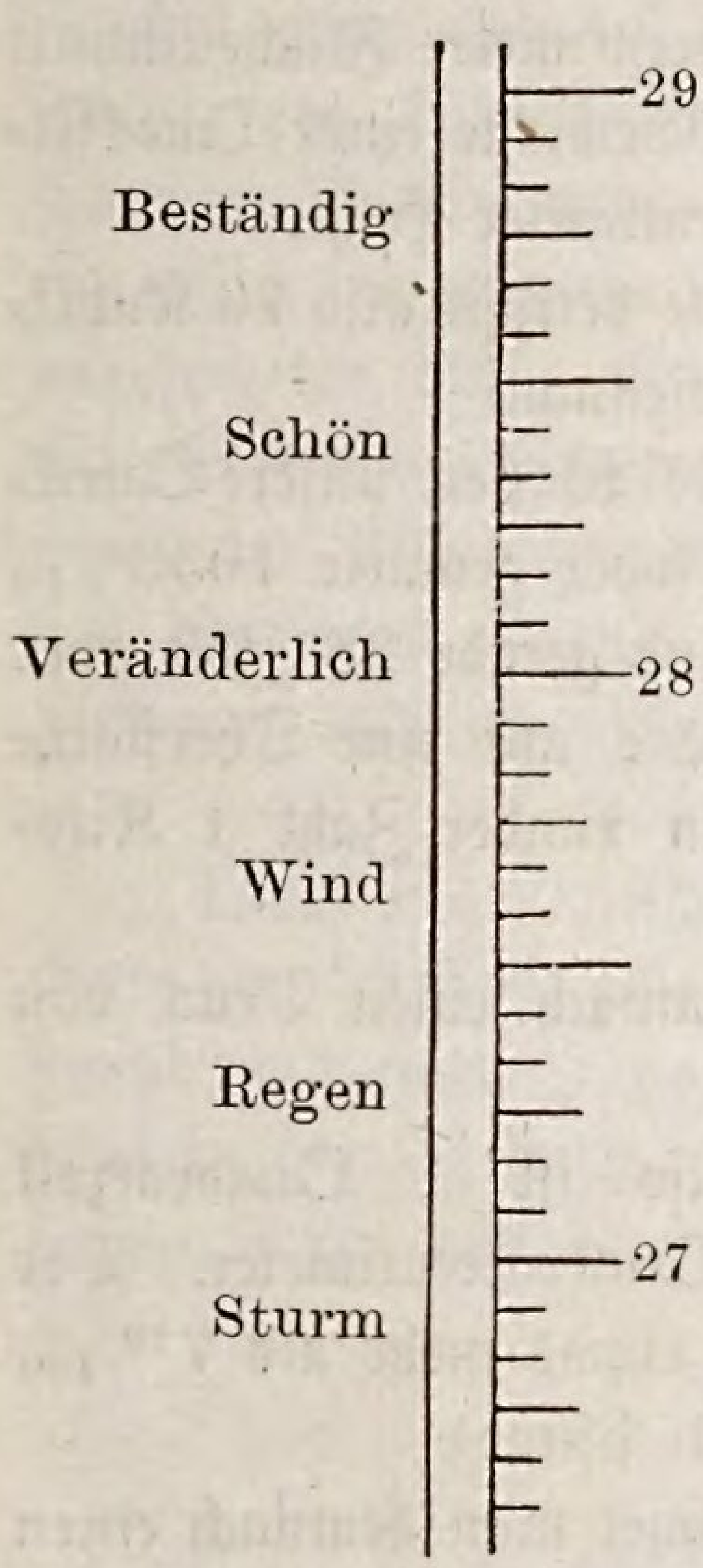
Das Barometer giebt uns ja direct nur die Größe des Luftdrucks an, die Witterung ist aber nicht allein von der Größe des Luftdrucks, sondern noch von anderen Umständen abhängig, die vom Barometerstand unabhängig sind.

Wenn man längere Zeit hindurch Morgens, Mittags und Abends den Barometerstand beobachtet und von allen Beobachtungen das Mittel nimmt, so erhält man den mittleren Barometerstand des Beobachtungsortes, welcher für Orte, welche nicht hoch über dem Meeresspiegel liegen, ungefähr 28 Zoll oder 76 Centimeter beträgt.

Wenn man sich von der Ebene aus auf irgend eine Weise erhebt, indem man etwa einen Thurm, einen Berg besteigt, so wird offenbar die Höhe der Luftsäule, die man noch über sich hat, geringer, der Luftdruck also kleiner, das Barometer

muß also sinken. Wenn man gleichzeitig am Fuße eines Berges und auf dem Gipfel desselben das Barometer beobachtet, so ist die Barometerhöhe unten größer als oben. Trägt man das Barometer, nachdem man es im Keller beobachtet, auf die Bühne eines 3- oder 4 stöckigen Hauses, so wird man finden, daß es nun um 1 bis $1^1/_2$ Linien tiefer steht als unten.

Fig. 117.



So ist denn auch der mittlere Barometerstand an einem höher gelegenen Orte stets niedriger als an einem tiefer gelegenen. Der oben besprochene mittlere Barometerstand von 76 Centimetern oder 28 Zoll gilt nur für Orte, die nicht viel über dem Meeresspiegel liegen, also etwa für die Ebenen Norddeutschlands. Freiburg im Breisgau liegt ungefähr 900 Fuß über dem Meeresspiegel und hier ist der mittlere Barometerstand nur 27″ 3‴ oder 74 Centimeter; für Freiburg ist also die Witterungstafel, Fig. 117, nicht mehr gültig, vielmehr müßte dieselbe soweit herabgerückt werden, daß „Veränderlich" dem Theilstrich 27″ 3‴ gegenüber zu liegen kommt. Nur selten wird der Barometerstand zu Freiburg die Höhe von 28″ erreichen.

Auf dem Rigi beträgt der mittlere Barometerstand nur 61 Centimeter oder $22^1/_2$ Zoll. In einer Höhe von 17 000 Fuß (Höhe des höchsten Gipfels des Kaukasus) beträgt die Barometerhöhe nur noch halb so viel als am Meeresspiegel, also nur noch 14″. Könnte man sich um 34,000′ über den Meeresspiegel erheben, so würde man den Barometerstand nur noch gleich 7 Zoll finden.

Im §. 3 haben wir gesehen, daß die Luft sich ausdehnt, wenn der Druck abnimmt, welcher auf ihr lastet; daraus folgt aber auch, daß die Luft auf dem Gipfel eines hohen Berges weniger dicht ist als in der Tiefe des Thales. Auf dem Gipfel des Rigi ist die Dichtigkeit der Luft nur ungefähr $^{11}/_{14}$ von der Dichtigkeit der Luft am Meeresspiegel oder mit anderen Worten: 11 Kubikmeter Luft am Spiegel des Meeres wiegen eben so viel, wie 14 Kubikmeter Luft auf dem Gipfel des Rigi.

Auf dem höchsten Gipfel des Kaukasus ist die Luft nur halb so dicht, als am Spiegel des Meeres.

Da die Dichtigkeit der atmosphärischen Luft mit der Erhebung über dem Meeresspiegel allmälig abnimmt, so ist klar, daß sie auch nicht mit einer scharfbegrenzten Oberfläche enden kann, wie das Meer, sondern daß sie allmälig bis zu unendlicher Verdünnung abnimmt. In einer Höhe von 34 000 Fuß ist ihre Dichtigkeit nur $^1/_4$, in einer Höhe von 10 Meilen ist sie aber ungefähr nur noch $^1/_{1000}$ von der Dichtigkeit der Luft am Meeresspiegel.

Der Atmosphärendruck. Das Barometer liefert uns ein einfaches 56
Mittel, um die Größe des Luftdrucks zu berechnen, welchen die am Boden des Luftmeeres befindlichen Körper auszuhalten haben. An einem Orte, für welchen

die Höhe der Barometersäule eben 28″ oder 76 Centimeter beträgt, ist der Druck der Atmosphäre gegen irgend eine Oberfläche gleich dem Gewichte einer auf dieser Fläche lastenden Quecksilbersäule von 76 Centimeter Höhe.

Der Druck, welchen eine Oberfläche von 1 Quadratcentimeter Flächeninhalt durch den Luftdruck auszuhalten hat, ist also gleich dem Gewichte einer Quecksilbersäule von 1 Quadratcentimeter Querschnitt und 76 Centimeter Höhe.

Der Rauminhalt (das Volumen) dieser Quecksilbersäule beträgt also 76 Kubikcentimeter, 76 Kubikcentimeter Wasser wiegen aber 76 Gramm.

Das Quecksilber ist aber $13^6/_{10}$ mal so schwer als Wasser, unsere Quecksilbersäule wiegt also $76 \times 13^6/_{10} = 1033$ Gramm (oder genauer $1033^6/_{10}$ Gramm); an einem Orte, für welchen der Barometerstand gerade 28 Zoll oder 76 Centimeter ist, beträgt also der Druck der Atmosphäre auf eine Oberfläche von 1 Quadratcentimeter Inhalt 1033 Gramm oder in runder Zahl 1 Kilogramm.

Eine Oberfläche von 25 Quadratcentimeter hat demnach einen Druck von etwas mehr als 25 Kilogramm auszuhalten.

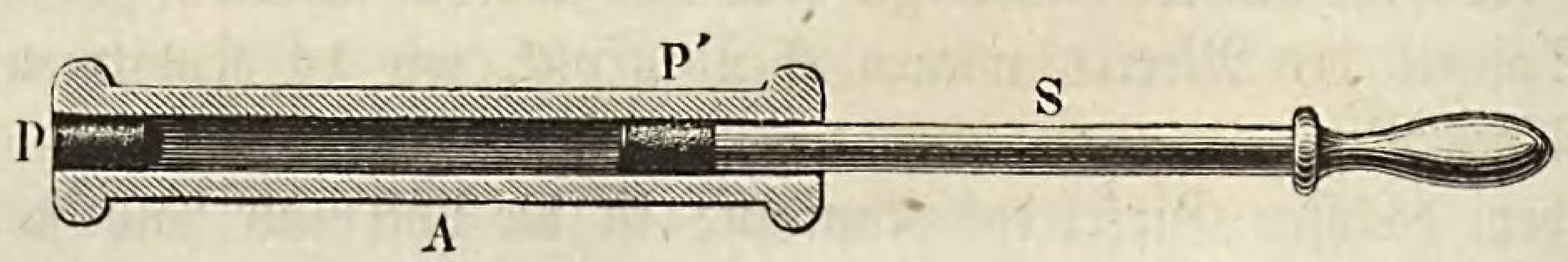
1 Pariser Zoll ist ungefähr 27 Millimeter, also ist 1 Quadratzoll $= 27 \times 27 = 729$ Quadratmillimeter oder $7^{29}/_{100}$ Quadratcentimeter. Der Druck der Atmosphäre gegen 1 Quadratzoll beträgt also etwas mehr als $7^{29}/_{100}$ Kilogramm, oder ungefähr 15 Pfund (500 Gramm = 1 Pfund).

Mit dem Namen des Atmosphärendrucks bezeichnet man demnach einen Druck von 1 Kilogramm gegen 1 Quadratcentimeter, oder einen Druck von 15 Pfund gegen 1 Quadratzoll.

Wenn in einem Dampfkessel der eingeschlossene Dampf mit einer Kraft von 2, 3, 4 Kilogramm gegen jedes Quadratcentimeter, oder mit einer Kraft von $2 \times 15 = 30$, $3 \times 15 = 45$, $4 \times 15 = 60$ Pfunden gegen jeden Quadratzoll der Innenfläche drückt, so sagt man, die Spannkraft des Dampfes beträgt 2, 3, 4 Atmosphären.

In das eine Ende einer gewöhnlichen Knallbüchse, Fig. 118, sei bei *p* ein

Fig. 118.



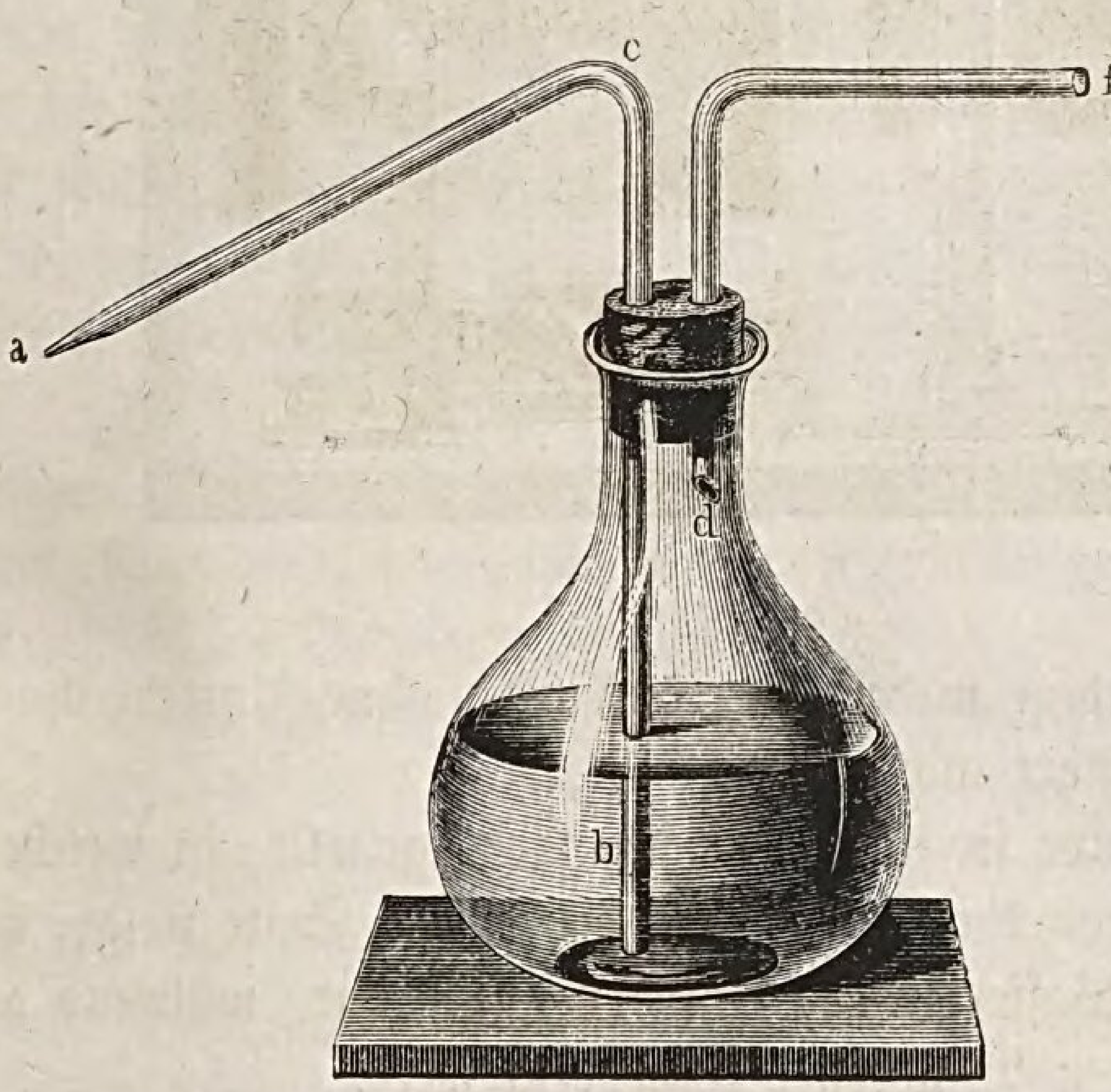
sehr gut schließender Kork eingesetzt. Verschließt man nun auch das andere Ende durch einen Kork *p′*, so wird in der Röhre eine Parthie Luft abgesperrt, deren Dichtigkeit im Moment des Verschließens gleich ist der Dichtigkeit der äußeren Luft. Jedes Quadratcentimeter der inneren Wand hat also ebenso wie jedes Quadratcentimeter der äußeren Fläche einen Druck von 1000 Gramm, jedes Quadratmillimeter also einen Druck von 10 Gramm, d. h. einen Atmosphärendruck auszuhalten. — Wird aber der Pfropfen *p′* durch den Stempel *S* weiter in die Röhre eingetrieben, so wird die abgeschlossene Luft auf einen kleineren Raum zusammengepreßt, sie wird verdichtet, der Druck, welchen sie gegen die innere Fläche des Korkes ausübt, nimmt zu. Nehmen wir an, die abgesperrte Luft sei

mittelst des Stempels S auf $1/2$, auf $1/3$ ihres ursprünglichen Raumes (Volumens) zusammengepreßt, so übt sie nun einen 2fachen, einen 3fachen Druck gegen die Röhrenwände aus, ihre Spannkraft ist jetzt gleich 2, gleich 3 Atmosphären, d. h. sie übt gegen jedes Quadratcentimeter der inneren Röhrenfläche einen Druck von 2000, von 3000 Gramm, gegen jedes Quadratmillimeter also einen Druck von 20, von 30 Grammen aus.

Bei fortgesetztem Eintreiben des Stempels S wird endlich die Spannkraft der abgesperrten Luft, also auch der Druck, welchen sie gegen die innere Fläche des Stopfens p ausübt, groß genug, um die Reibung zu überwinden, welche den Kork p in der Mündung der Röhre festhält; der Kork p fliegt hinaus und dabei läßt sich ein Knall hören, weil sich die bis dahin abgesperrte und zusammengedrückte Luft nun plötzlich wieder ausdehnt.

Der Heronsball und die Feuerspritze. Ein Gefäß, aus wel- 57
chem ein Wasserstrahl durch den Druck comprimirter Luft hervorgetrieben wird, nennt man einen Heronsball. Ein Heronsball einfachster Form ist die Spritzflasche der Chemiker, Fig. 119. Eine Glasröhre acb, welche bei a zu einer feinen Spitze ausgezogen ist, geht luftdicht durch den Kork, welcher den Hals eines Glasballons verschließt, und zwar geht sie fast bis auf den Boden des zum Theil mit Wasser gefüllten Gefäßes herab. Wenn nun durch ein zweites Rohr df, welches dicht unter dem Korke mündet, Luft eingeblasen wird, so wird dadurch die Luft im oberen Theil des Ballons comprimirt und ein Wasserstrahl aus der Oeffnung bca hervorgetrieben.

Fig. 119.



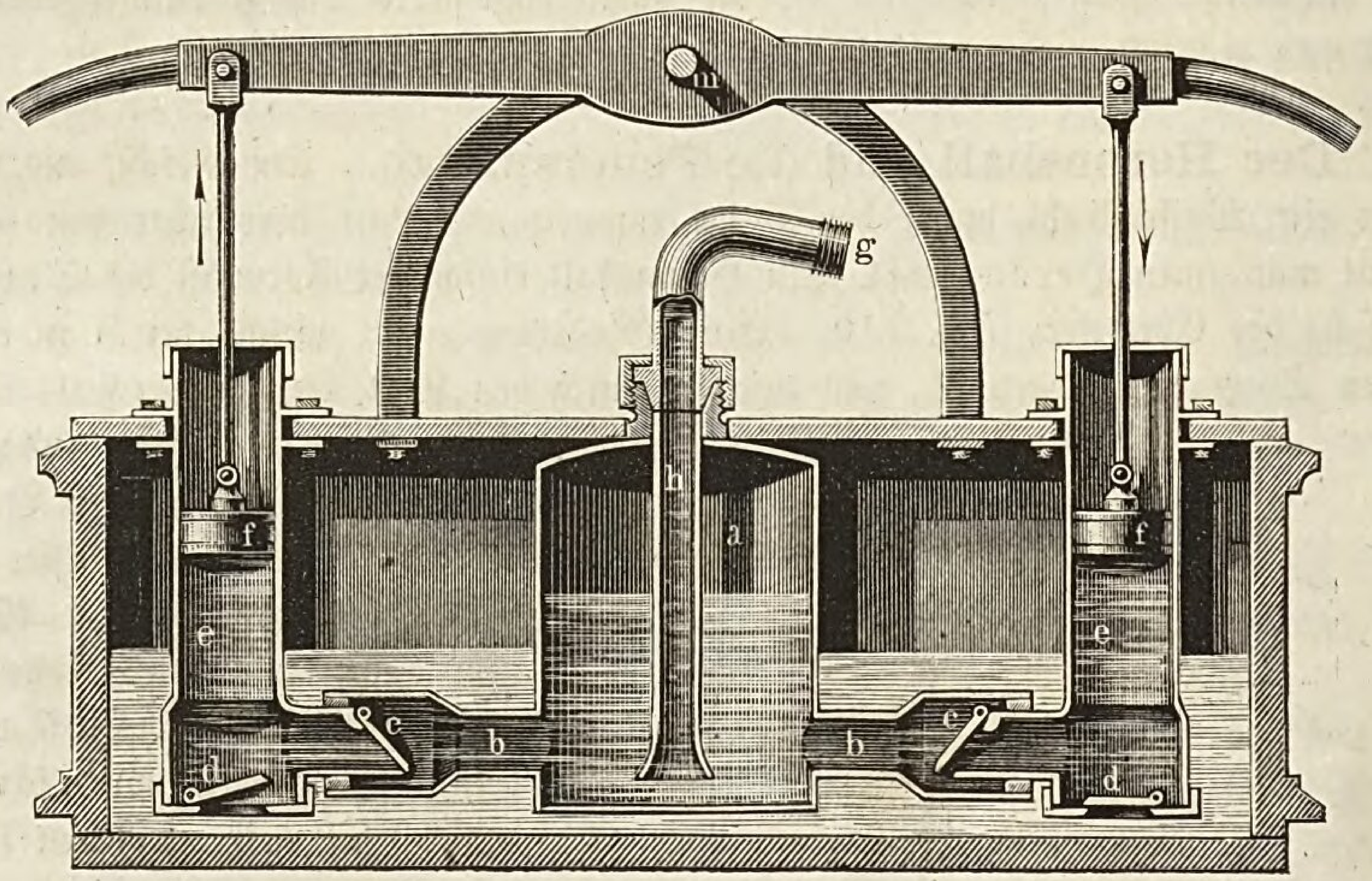
Durch Blasen mit dem Munde kann man natürlich keine starke Compression der Luft im Ballon erzeugen, also auch den Wasserstrahl nur mit geringer Kraft aus der Mündung a hervortreiben. Wenn es sich um Erzeugung eines kräftigen Wasserstrahles durch comprimirte Luft handelt, muß man der größeren Festigkeit wegen Metallgefäße in Anwendung bringen und die Zusammendrückung der Luft durch eine Compressionspumpe besorgen, wie dies bei der Feuerspritze, Fig. 120 a. f. S., der Fall ist.

Die Pumpenstiefel, von denen wir vor der Hand nur den einen rechts betrachten wollen, stehen in einem mit Wasser gefüllten Kasten. Wenn der Kolben f aufgezogen wird, so hebt sich die Klappe d, und das Wasser dringt in den Stiefel. Beim Niedergange des Kolbens schließt sich das Ventil d, die Klappe c wird geöffnet, und das Wasser wird durch das Gurgelrohr b in den Windkessel

a gepreßt. Dieser Windkessel ist nichts Anderes als ein großer Heronsball; je mehr Wasser in den Windkessel gepumpt wird, desto mehr wird die Luft im oberen Theile desselben comprimirt. Das Rohr *h* reicht fast bis auf den Boden des Windkessels; bei *g* wird eine Röhre mit enger Oeffnung, der Schwanenhals, angeschraubt. Durch den Druck, welchen die im Windkessel comprimirte Luft auf das Wasser in demselben fortwährend ausübt, wird ein starker Wasserstrahl aus der Oeffnung des Schwanenhalses hervorgetrieben.

Der Auf- und Niedergang der Kolben wird durch einen zweiarmigen Hebel bewerkstelligt. An diesem Hebel sind die beiden Kolbenstangen so befestigt, daß

Fig. 120.



der eine Kolben steigt, wenn der andere niedergeht, daß also ohne Unterbrechung dem Windkessel neues Wasser zugeführt wird.

In unserer Figur ist die Spritze in einem Momente dargestellt, in welchem der Kolben rechts niedergeht, während der Kolben auf der linken Seite steigt; auf der linken Seite wird also gerade Wasser in den Stiefel eingesaugt, während auf der rechten Seite eben Wasser in den Windkessel eingepreßt wird.

Es ist nicht gerade nothwendig, daß eine Feuerspritze zwei Cylinder habe, und in der That werden kleinere Feuerspritzen nur mit einem Cylinder construirt; in diesem Falle ist freilich der Wasserzugang in den Kessel alternirend, dessenungeachtet aber wird aus dem Rohre des Windkessels ein continuirlicher Wasserstrahl herausgetrieben, weil die comprimirte Luft auch noch wirkt, während der Kolben aufgezogen wird. Es finden dabei allerdings Schwankungen in der Kraft statt, mit welcher der Wasserstrahl hervordringt, denn diese nimmt allmälig ab, während der Kolben aufgezogen wird, und sie wächst dann wieder, während der Kolben niedergedrückt, also eine neue Quantität Wasser in den Windkessel hineingepreßt wird. Doch sind diese Schwankungen um so kleiner, je größer der Inhalt des Windkessels im Vergleich zu dem des Cylinders ist.

Die Luftpumpe. Obgleich das Verständniß der Luftpumpe dem 58
elementaren Unterricht keineswegs zu hoch liegt, wird sie doch nur selten im Schulunterricht angewendet werden können, weil sie eben zu kostspielig ist. Wir haben deshalb gesucht, die wichtigsten Eigenschaften der Luft (Schwere und Ausdehnbarkeit) auch ohne Luftpumpe nachzuweisen; dessenungeachtet darf aber doch das Wesentlichste über Einrichtung und Gebrauch der Luftpumpe nicht ganz unbesprochen bleiben.

Seit der Erfindung der Luftpumpe (1650) durch Otto von Guerike ist dieselbe in gar mannigfaltigen Formen ausgeführt worden; hier müssen wir uns natürlich darauf beschränken, eine der einfachsten Formen derselben zu beschreiben. In einem hohlen Messingcylinder *CC*, Fig. 121, a. f. S. (dem Stiefel), kann ein Kolben *A* luftdicht auf- und abbewegt werden. Von dem Boden des Cylinders führt ein verticaler Canal herab bis zu dem horizontalen Rohre *s*, welches durch ein Glasrohr *t* mit Hülfe von Kautschukröhrchen mit dem Recipienten *g*, d. h. mit dem Raume in Verbindung gesetzt werden kann, aus welchem man die Luft entfernen will. Die Glasröhre *t* verbindet nämlich die Messingröhren *s* und *p*, von welchen letztere zu dem verticalen Canale *ab* führt, der oben in der Mitte des eben abgeschliffenen Tellers *dd* mündet. Auf diesen Teller wird dann die Glasglocke *g* aufgesetzt, deren unterer Rand gleichfalls eben abgeschliffen ist, und der des besseren Schlusses wegen mit Talg oder Schweinefett bestrichen wird.

Der Kolben *A* ist aus verschiedenen Stücken zusammengesetzt, nämlich erstens einem zum Theil hohlen Messingstück *K*, welches von einer Lederkappe umgeben ist, die fest an die Wände des Cylinders andrückt und namentlich beim Aufziehen des Kolbens noch durch den von oben her wirkenden Luftdruck an dieselben gepreßt wird, und zweitens aus einem von unten her in *K* eingeschraubten Metallstück *L*, welches in der Mitte durchbohrt ist und die Bodenplatte des Kolbens bildet.

Dieses Metallstück *L* ist nun oben mit einem Ventil versehen, welches demjenigen in Fig. 101, Seite 94, ähnlich ist, durch welches die Mündung des Ballons, Fig. 100, geschlossen wird. Fig. 122 zeigt das Metallstück *L* in größerem Maßstabe im Grund- und Aufriß.

Dieses Ventil wird fest auf die Oeffnung aufgepreßt, wenn der Luftdruck von oben her, es wird geöffnet, wenn er von unten her stärker ist.

Ein ähnliches Ventil ist nun über der centralen Oeffnung der Bodenplatte des Cylinders angebracht. Beim Aufziehen des Kolbens öffnet sich dieses Bodenventil und die Luft strömt aus dem Recipienten in den Stiefel. Beim Niederdrücken des Kolbens schließt sich das Bodenventil und hindert den Rückgang der Luft in den Recipienten, während sie durch das geöffnete Kolbenventil entweicht.

Die Luftpumpenventile werden vielfach in anderer als die durch Fig. 122 erläuterte Weise construirt.

Der Röhre *s* gegenüber befindet sich eine ähnliche, durch den Hahn *n* verschließbare, an welche mittelst eines Kautschukröhrchens eine rechtwinklig umgebogene Glasröhre *b* von ungefähr 80 Centimetern verticaler Länge angesetzt ist. Taucht man das untere Ende dieser Röhre in ein Gefäß mit Quecksilber, so steigt dasselbe in *b* um so mehr, je weiter bei geöffnetem Hahne *n* die Auspumpung fortgesetzt wird. Ist das Quecksilber in *b* bis zu einer Höhe von 38, 51, 57 ꝛc. Centimetern aufgesaugt worden, so sieht man daraus, daß die Luft in *g* auf $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ ihres

ursprünglichen Zustandes verdünnt ist. Wäre es möglich, mittelst der Luftpumpe einen ganz luftleeren Raum darzustellen, so müßte man die Quecksilbersäule in *b* bis zur Barometerhöhe aufsaugen können; mit den besten Handluftpumpen wird man es aber kaum weiter bringen können als bis zur Aufsaugung einer Quecksilbersäule in *b*, welche 3 bis 4 Centimeter niedriger ist als die Barometersäule, in welchem

Fig. 122.

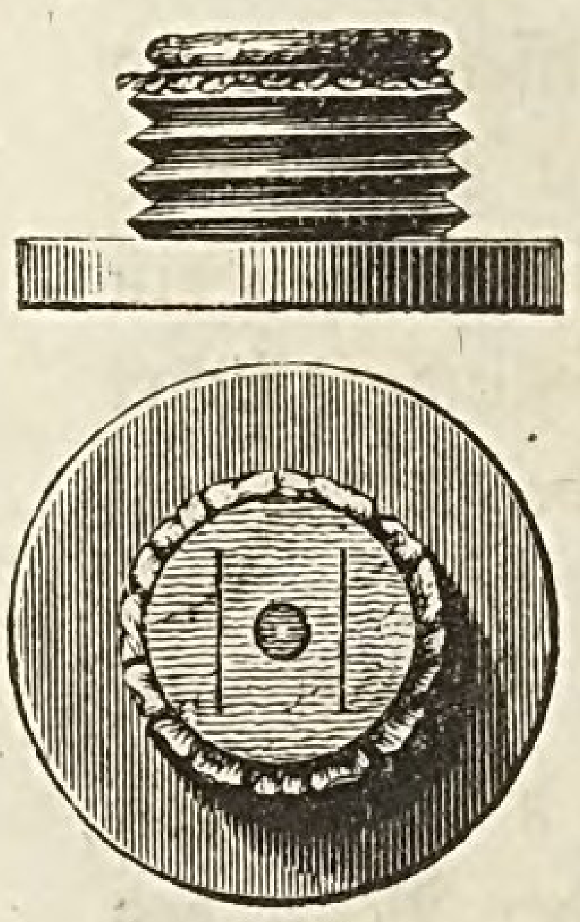
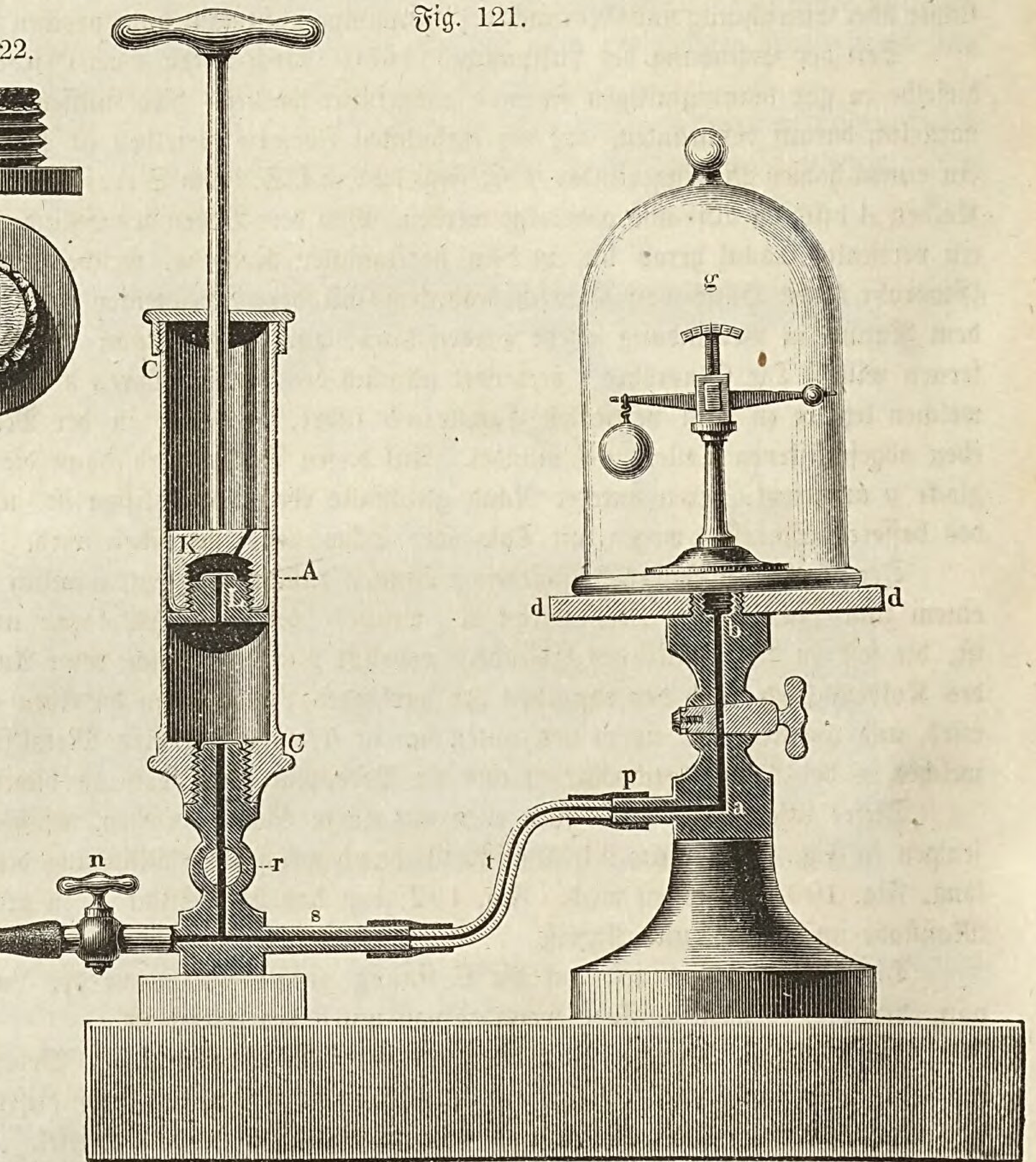
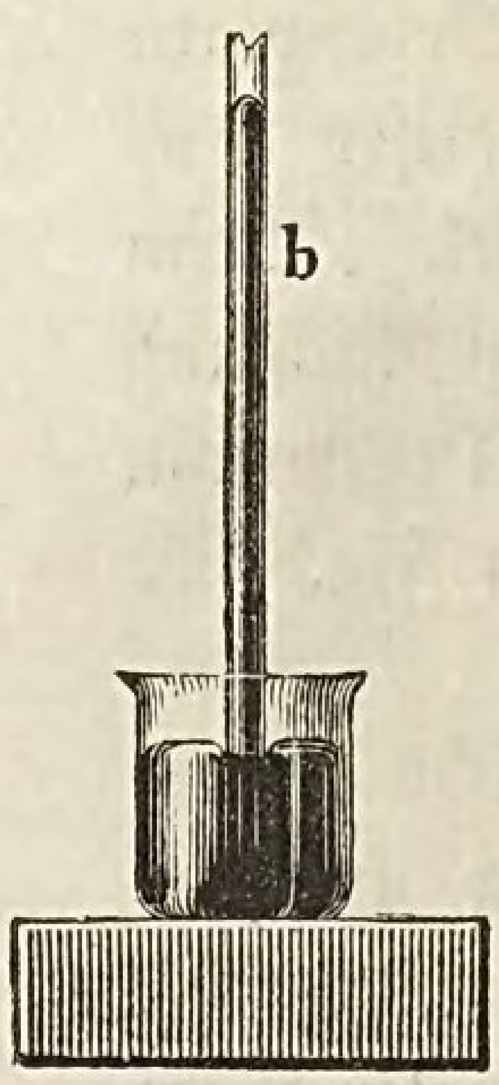


Fig. 121.





Falle dann die Luft in *g* bis auf $1/_{25}$ bis $1/_{20}$ ihrer ursprünglichen Dichtigkeit verdünnt ist.

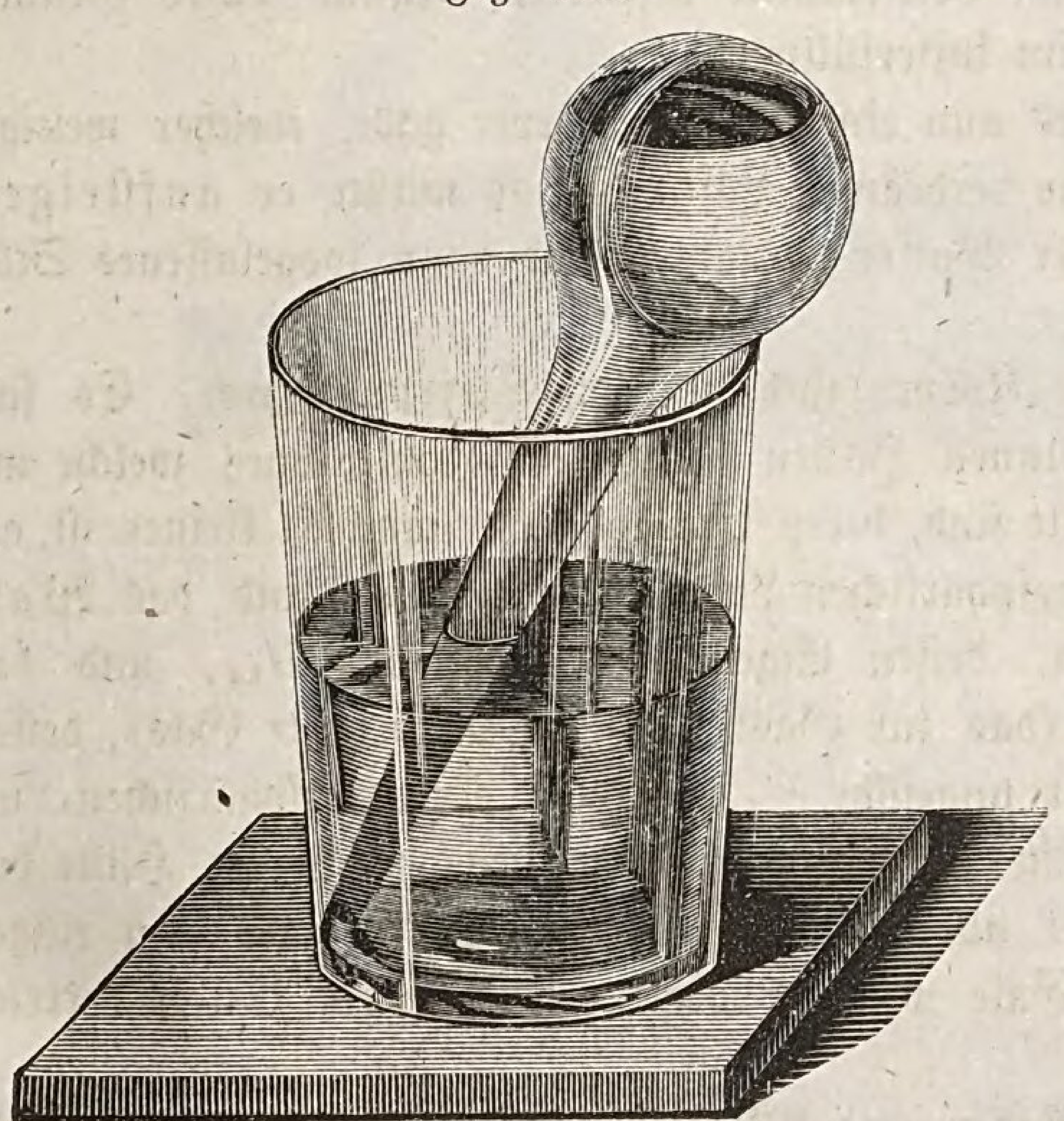
Solche Vorrichtungen, wie die Röhre *b*, Fig. 121, nennt man Barometerproben; man hat denselben mannigfach bequemere Formen gegeben, welche aber hier natürlich nicht besprochen werden können.

Die abwechselnde Verbindung und Unterbrechung des Stiefels mit dem Recipienten war bei der eben beschriebenen Luftpumpe durch ein Ventil vermittelt worden, wie denn auch die aus dem Apparat fortzuschaffende Luft durch ein Ventil entweicht; deshalb werden solche Luftpumpen Ventilluftpumpen genannt, im Gegensatz zu den Hahnenluftpumpen,

in welchen Hähne statt der Ventile in Anwendung gebracht werden, auf deren Besprechung wir aber hier verzichten müssen.

Viele Luftpumpenversuche, wie die Magdeburger Halbkugeln, das Blasensprengen, der Quecksilberregen ꝛc., die hier nicht näher zu besprechen sind, dienen dazu, die Lehre vom Luftdruck zu erläutern, den wir schon auf anderem Wege kennen gelernt haben. Andere Versuche, wie z. B. das Aufblähen der Kautschukballons, Fig. 7, Seite 7, beweisen die Ausdehnbarkeit (das Expansionsvermögen) der Luft. Die Ausdehnung der Luft bei vermindertem Druck kann man auch zeigen, indem man die Mündung eines bis auf einen kleinen Rest mit Wasser gefüllten Glaskolbens in ein weiteres mit Wasser gefülltes Gefäß, Fig. 123, eintaucht und beides zusammen unter den Recipienten der Luftpumpe setzt. Je mehr man die Luft aus dem Recipienten herauspumpt, desto mehr dehnt sich die im oberen Theile des Ballons befindliche Luftblase aus.

Fig. 123.



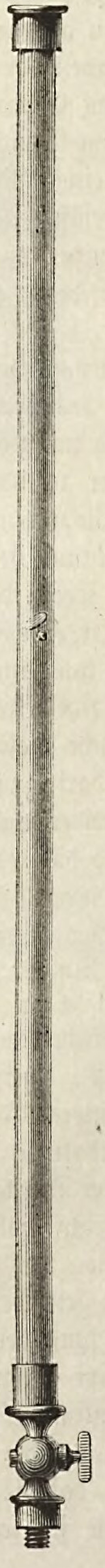
Ferner kann man die Luftpumpe auch benutzen, um den Widerstand nachzuweisen, welchen Körper zu überwinden haben, welche sich in einem lufterfüllten Raum bewegen.

Wenn wir sehen, daß ein Stückchen Papier, eine Flaumfeder u. s. w. langsamer zur Erde fällt als eine Bleikugel, so ist die Ursache dieses Unterschiedes nur darin zu suchen, daß der Luftwiderstand für das Papier und die Feder im Verhältniß zu ihrem Gewicht bei weitem größer ist, als bei der Bleikugel. In der Fallröhre, Fig. 124 a. f. S., fällt ein Papierscheibchen und ein etwas großes Schrotkorn gleich schnell, wenn man die mittelst der Luftpumpe möglichst von Luft entleerte Röhre, nachdem der Hahn in der unteren Fassung geschlossen ist, von der Luftpumpe abschraubt und die vertical gehaltene Röhre rasch umkehrt, so daß das bis dahin untere Ende das obere wird. — Der Durchmesser einer solchen schon zu den kostspieligeren und für den Elementarunterricht wohl entbehrlichen Apparaten gehörigen Röhre beträgt ungefähr 3 Centimeter, ihre Länge 2 Meter. Die Luftverdünnung in der Röhre muß aber ziemlich weit getrieben sein, wenn der Versuch entscheidend sein soll; mit Handluftpumpen wird er kaum gelingen.

Uebrigens läßt sich der Luftwiderstand auch ohne Luftpumpe nachweisen. Mit einem Lineal von 4 bis 5 Centimeter Breite, 40 bis 50 Centimeter Länge und gegen 3 Millimeter Dicke schlage man einmal in solcher Richtung, daß die Ebene des Lineals in die Richtung der Bewegung fällt, ein anderesmal so, daß sie rechtwinklig auf derselben steht, so wird die Hand deutlich fühlen, wie im letzteren

Fall ein bedeutend größerer Widerstand zu überwinden ist als im ersteren, ja das Lineal wird sich im letzteren Falle bedeutend krümmen, wenn es nicht zu dick ist.

Fig. 124.



59 **Der Luftballon.** Jeder ringsum von Luft umgebene Körper verliert einen Theil seines Gewichtes (oder vielmehr die Luft trägt einen Theil seines Gewichtes), wie wir Aehnliches in §. 45 bei Körpern sehen, die in Wasser untergetaucht sind. Der Gewichtsverlust in der Luft ist eben gleich dem Gewichte der verdrängten Luftmasse. Für einen Glaskolben, dessen äußeres Volumen 1 Liter beträgt, ist dieser Gewichtsverlust etwas mehr als 1 Gramm, 1 Kubikmeter Luft wiegt ungefähr 1200 Gramm ($1^2/_{10}$ Kilogramm oder $2^2/_5$ Pfund). Ein Körper, dessen Rauminhalt 1 Kubikmeter (1 Stere) beträgt, wiegt also im vollkommen luftleeren Raum 1200 Gramm mehr als im lufterfüllten.

Wenn es nun einen festen Körper gäbe, welcher weniger wiegt als die verdrängte Luftmasse, so müßte er aufsteigen, wie ein unter Wasser getauchtes und dann losgelassenes Stück Holz.

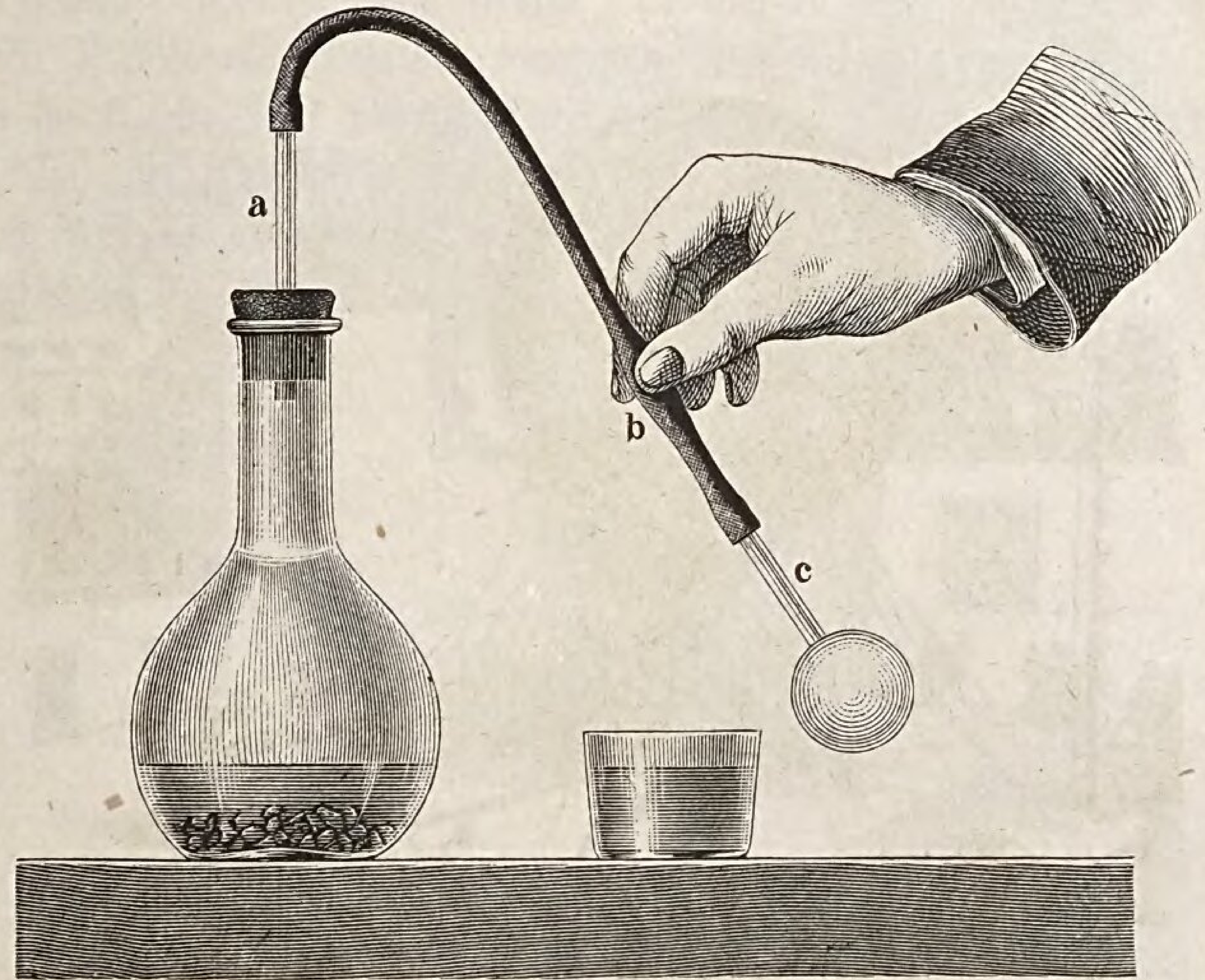
Solche Körper sind nun die Luftballons. Es sind dies aus dünnen Hüllen hergestellte Hohlräume, welche mit Gasen gefüllt sind, deren Eigengewicht namhaft kleiner ist, als das der atmosphärischen Luft. Solche Gase sind das Wasserstoffgas, dessen Eigengewicht ungefähr $^1/_{14}$, und das Leuchtgas (das zur Gasbeleuchtung verwendete Gas), dessen Eigengewicht ungefähr $^1/_2$ von dem der atmosphärischen Luft beträgt. Ein Luftballon muß steigen, wenn die Hülle des Ballons mit allem, was daran hängt, sammt dem eingeschlossenen Gase weniger wiegt, als die vom Ballon vertriebene Luft.

Auf Messen und Märkten sieht man kleine rothe Luftballons von 1 bis 2 Decimeter Durchmesser. Es sind dies kleine Kautschukballons, die wir bereits in §. 3 kennen lernten und welche mit Wasserstoffgas aufgeblasen sind.

Am leichtesten läßt sich das Steigen des Luftballons mit Wasserstoffgas in folgender Weise erläutern. In einem Glaskolben, Fig. 125, von ungefähr 500 Kubikcentimeter Inhalt wird Wasserstoffgas entwickelt, indem man ungefähr 50 bis 60 Gramm Zinkstücke (am besten granulirtes Zink) mit 100 Kubikcentimeter Wasser übergießt, dem man 25 bis 30 Cubikcentimeter Vitriolöl zusetzt. Der Kolben wird durch einen Kork geschlossen, in welchem ein Glasröhrchen *a* steckt, an welches sich ein Kautschukrohr ansetzt. In die Mündung des Kautschukrohres ist dann endlich ein ungefähr 1 Decimeter langes und im Lichten 2 Millimeter weites Glasrohr *c* ein=

gesetzt. Das Wasserstoffgas entweicht aus der Mündung des Glasrohres *c*. Um den Versuch zu machen, schließt man das Kautschukrohr bei *b* durch den Druck

Fig. 125.



zweier Finger, taucht die Mündung des Rohres *c* in ein Schälchen mit Seifenwasser, und öffnet, nachdem man sie wieder aus dem Seifenwasser herausgezogen hat, vorsichtig die Kautschukröhre bei *b*, indem man mit dem Druck der Finger nachläßt. Das Wasserstoffgas, welches nun durch die Röhre *c* austritt, bläst das Seifenwasser, welches in seiner Mündung hängen geblieben ist, zu einer Seifenblase auf, welche sich, wenn sie groß genug geworden ist, von dem Röhrchen *c* loslöst und in die Höhe steigt.

Man kann das Röhrchen *c* auch entbehren und die Seifenblasen an der Mündung des Kautschukrohres selbst bilden, allein von diesem lösen sie sich nicht so leicht ab als von dem Glasrohre.

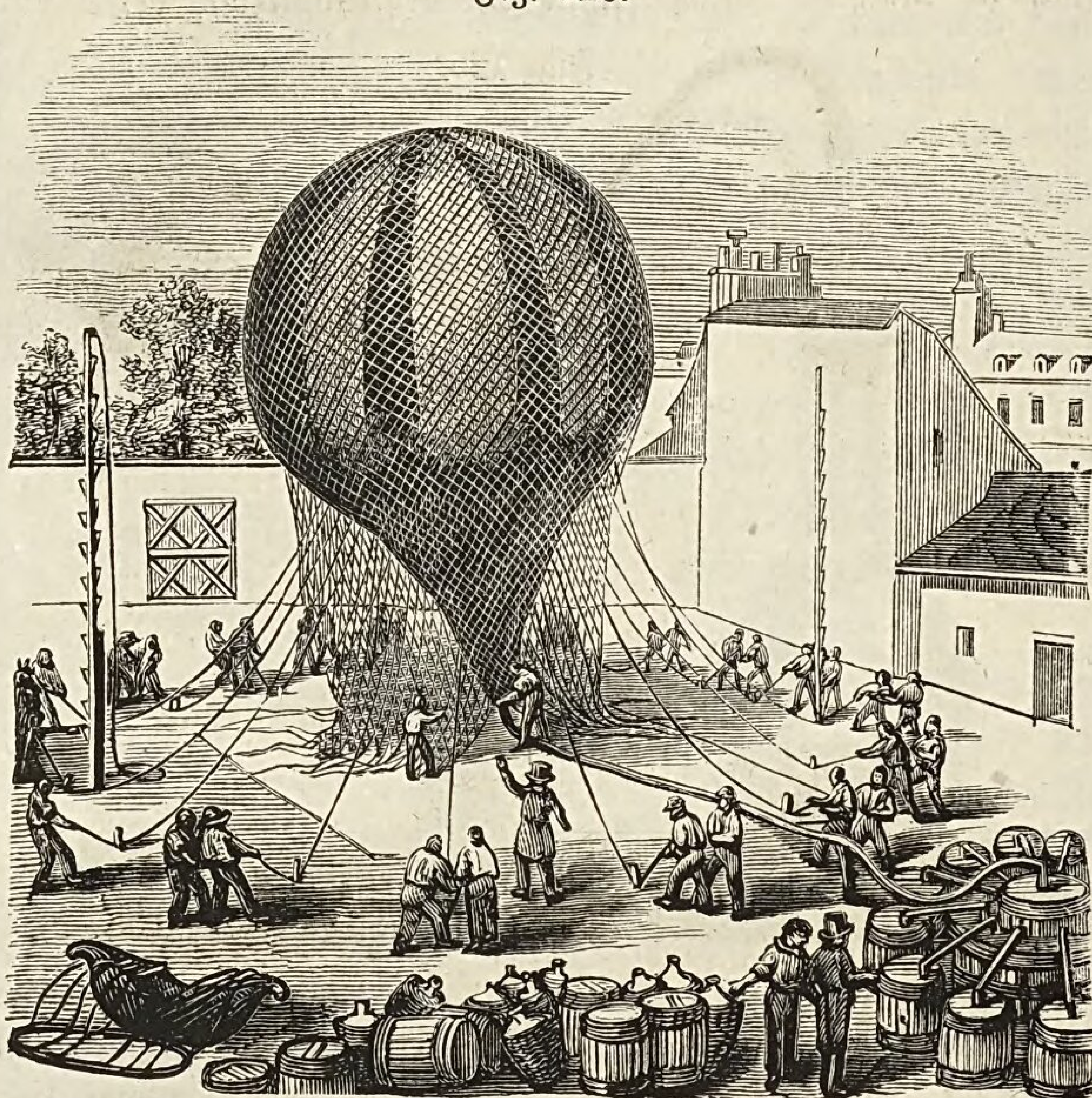
Wenn der Versuch gelingen soll, so muß der Kork im Halse des Ballons sehr gut schließen und die Gasentwickelung muß sehr lebhaft, die Schwefelsäure darf also nicht stark verdünnt sein.

Weit bequemer kann man Seifenblasen mit Leuchtgas zum Steigen bringen. Man braucht nur das Kautschukrohr mit dem Glasröhrchen *c* über irgend einen Gasbrenner aufzuschieben und den Hahn dieses Brenners zu öffnen, um Seifenblasen mit Leuchtgas zu füllen, die alsbald in die Höhe steigen. Berührt man eine solche aufsteigende Gasblase mit einem brennenden Streichholz, so entzündet sich das Gas der platzenden Blase.

Die großen Luftballons sind aus Streifen von Seidentaffet zusammengenäht, welche noch mit Kautschukfirniß überstrichen werden, damit sie das Gas weniger leicht durchlassen. Der ganze Ballon ist von einem Netzwerk umgeben, an welchem eine leichte zur Aufnahme einiger Personen dienende Gondel befestigt wird.

Fig. 126 erläutert die Füllung eines Ballons mit Wasserstoffgas. Das Gas wird in einer Reihe von Fässern entwickelt, welche im Kreise um eine größere mit

Fig. 126.



Wasser gefüllte Bütte herumstehen. In der Mitte dieser Bütte befindet sich ein etwas größeres Faß, dessen Boden offen ist. Das aus den Entwickelungsfässern kommende Gas wird durch Röhren fortgeleitet, welche in dem unteren Theile des mittleren größeren Fasses münden, so daß das hier austretende Gas durch Wasser in den oberen Theil des mittleren Fasses aufsteigt und dadurch von der etwa mitgerissenen Säure befreit wird. Aus diesem mittleren Fasse wird dann endlich das Gas zum Ballon geleitet.

Weil das Eigengewicht des Leuchtgases viel größer ist als das des Wasserstoffgases, so müssen die mit Leuchtgas gefüllten Ballons bei gleicher Tragkraft viel größer sein als die mit Wasserstoff gefüllten; dagegen hat das Leuchtgas den Vortheil, daß zu seiner Bereitung nicht erst ein besonderer Apparat zusammengestellt werden muß, indem jede Gasanstalt das zur Füllung des Ballons nöthige Gas liefern kann.

Die seidene Hülle ist übrigens, selbst wenn sie gefirnißt ist, nicht ganz undurchdringlich für Gase; das Wasserstoffgas entweicht aber durch dieselbe weit schneller als Leuchtgas.

Die kleineren Leuchtgasballons haben einen Inhalt von 700 Kubikmetern. Es wiegen

700 Kubikmeter Leuchtgas . . .	420 Kilogramm
der Ballon sammt Netzwerk und Gondel	150 „
zwei Personen in der Gondel . .	120 „
zusammen also	690 Kilogramm.

Die durch den Ballon vertriebene Luft (700 Kubikmeter) wiegt ungefähr 840 Kilogramm, mit 2 Personen in der Gondel, steigt derselbe also immer noch mit einer Kraft von 840 — 690 = 150 Kilogramm. Mit dieser Belastung müßte der Ballon zu einer Höhe steigen, in welcher die Luft bereits so verdünnt ist, daß 700 Kubikmeter derselben nur noch 690 Kilogramm wiegen.

Man hat Luftballons bis zu einer Größe von 14 000 Kubikmetern Inhalt gebaut, welche mit Zugehör 1300 Kilogramm wiegen und welche in einer entsprechend construirten Gondel 10 Personen mit beträchtlichem Ballast mit in die Höhe nehmen können.

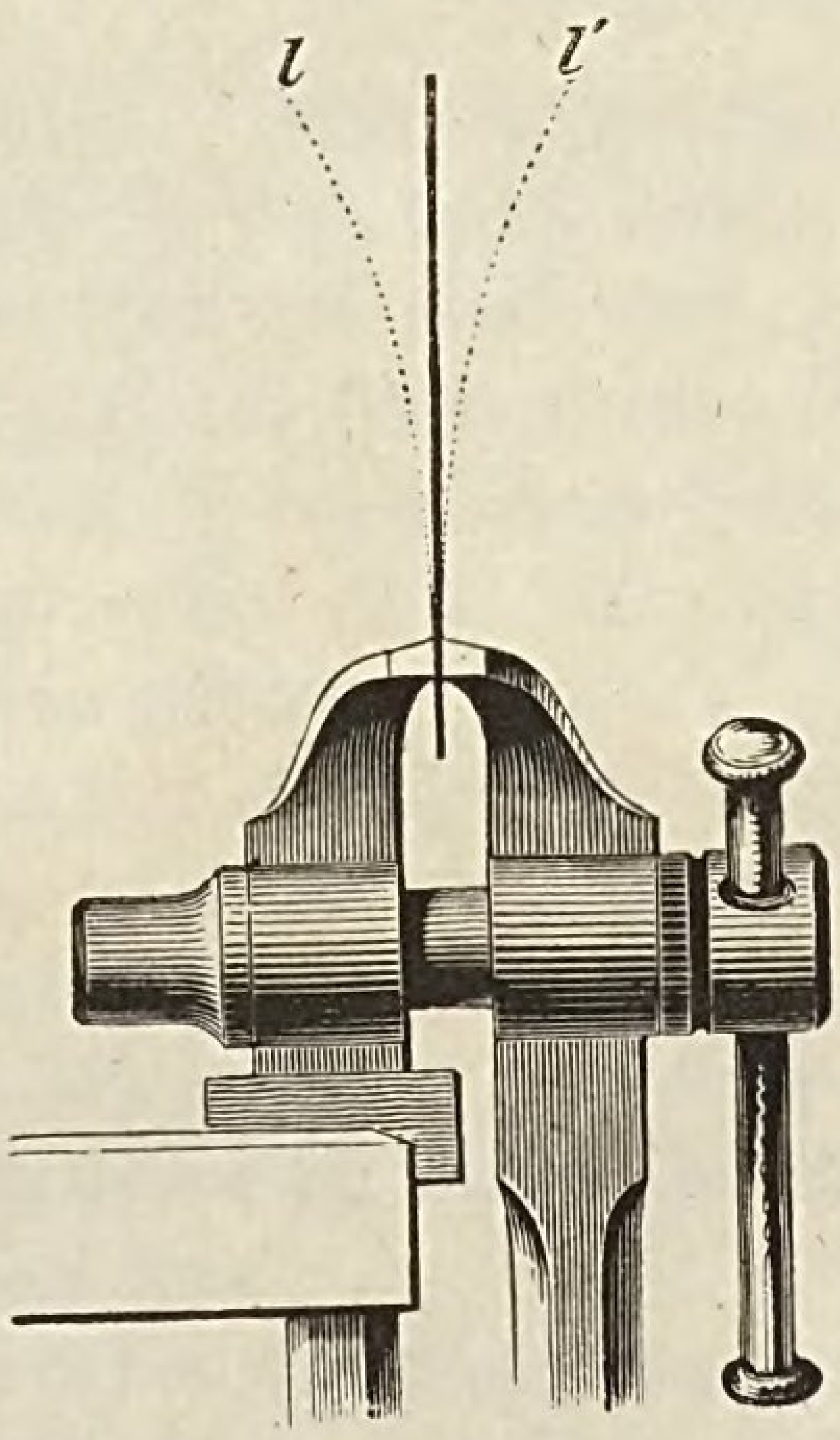
Drittes Buch.

Die Akustik oder die Lehre vom Schalle.

---

60 **Schallbildung.** Wenn ein gerader elastischer Stahlstreifen, etwa ein 30 bis 40 Centimeter langes, an einem Ende festgeklemmtes Stück eines Sägeblattes, Fig. 127, so aus seiner Gleichgewichtslage herausgebogen wird, daß sein oberes Ende nach *l* kommt und man dann die Feder losläßt, so macht sie bald nach der einen, bald nach der anderen Seite ihre Gleichgewichtslage ausschlagend eine Reihe von Schwingungen (Oscillationen), deren Weite allmälig abnimmt, bis die Feder endlich wieder in Ruhe kommt.

Fig. 127.



Aehnliche Schwingungen macht jeder auf die eine oder die andere Weise aus seiner Gleichgewichtslage herausgebrachter elastische Körper. Sind diese Schwingungen rasch genug, so werden sie von dem Ohre als Schall wahrgenommen, wenn sie durch die in der Luft erzeugten Schallwellen bis zu demselben fortgepflanzt werden.

Daß ein tönender Körper sich wirklich im Zustande zitternder (oscillirender) Bewegung befindet, davon kann man sich auf mannigfache Weise überzeugen. Man kann dieses Erzittern mit dem Auge wahrnehmen, wenn man eine der untersten Tasten eines Klaviers anschlägt und die entsprechende Saite betrachtet, während die Taste niedergehalten bleibt. Ebenso kann man die zitternde Bewegung an den Saiten einer Guitarre wahrnehmen. Wenn man die wagerecht gehaltene Partie *ab*, Fig. 128, einer

gewöhnlichen Käseglocke ganz dünn mit Schreibsand bestreut und dann die Glocke (welche man mittelst des Knopfes in der linken Hand festhält) mit einem ungefähr 1 Centimeter dicken Holzstäbchen bei *c* anschlägt, so sieht man deutlich, wie der Sand lebhaft herumgewirbelt wird, während die Glocke tönt.

Hält man die Stelle *d* des Glockenrandes, welche zwischen *b* und *c* in der Mitte liegt, dicht an ein Holzkügelchen von ungefähr 6 Millimeter Durchmesser, welches an einem 3 Decimeter langen Zwirnsfaden hängt, so wird das Kügelchen lebhaft auf die Seite geschleudert, wenn man die Glocke durch Anschlagen bei *c* ins Tönen bringt. Das wieder herabfallende Kügelchen wird stets von Neuem weggeschleudert, so lange die Glocke stark genug ertönt.

Der Versuch gelingt besser mit etwas größeren, als mit kleineren Glocken, er gelingt besser, wenn man die Glocken durch Streichen mit einem Fiedelbogen, als wenn man sie durch Anschlagen mit einem Holzstäbchen ins Tönen bringt.

Am sichersten gelingt der letztere Versuch, wenn der Knopf der Glocke nicht in der Hand gehalten wird, sondern in einen etwas schweren Holzklotz eingekittet ist, wie Fig. 129 zeigt. Statt der eingekitteten Glocke kann man aber auch eine

Fig. 128.

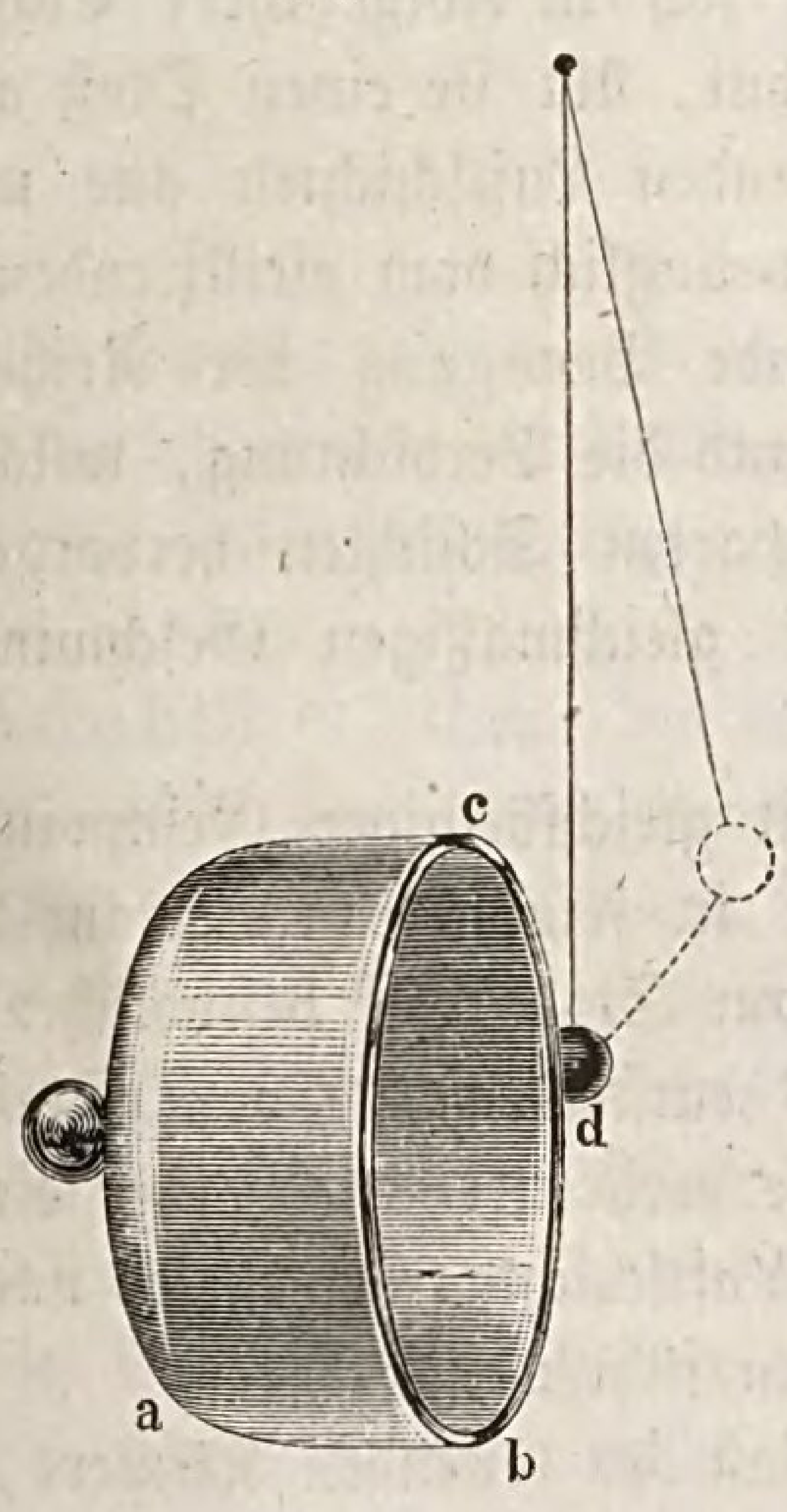
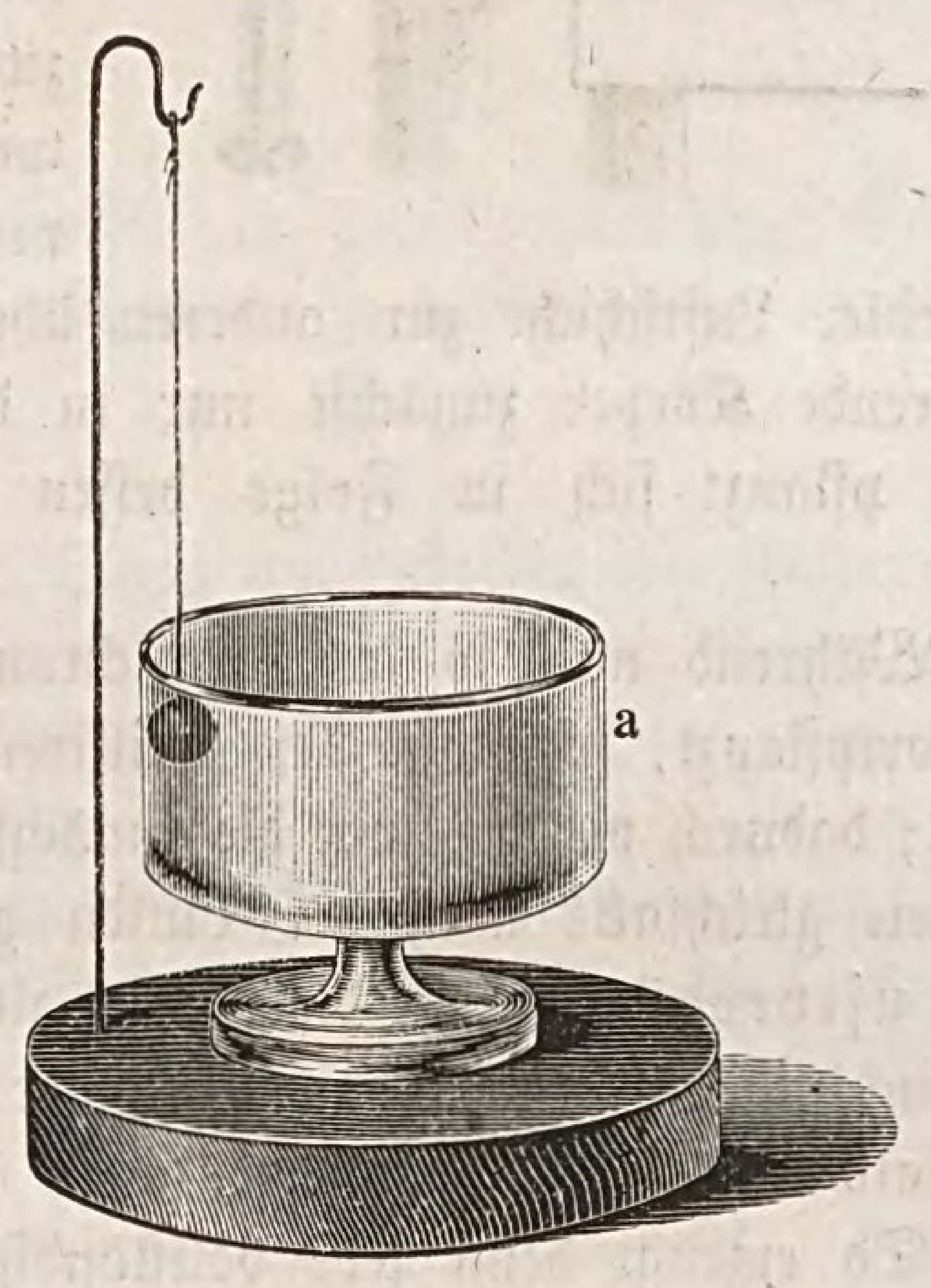


Fig. 129.



solche gebrauchen, deren Knopf mittelst zweier Scheiben von Korkholz (Scheiben, die von einem etwas großen Korkstopfen abgeschnitten sind) zwischen die beiden Backen eines Schraubstocks festgeklemmt hat.

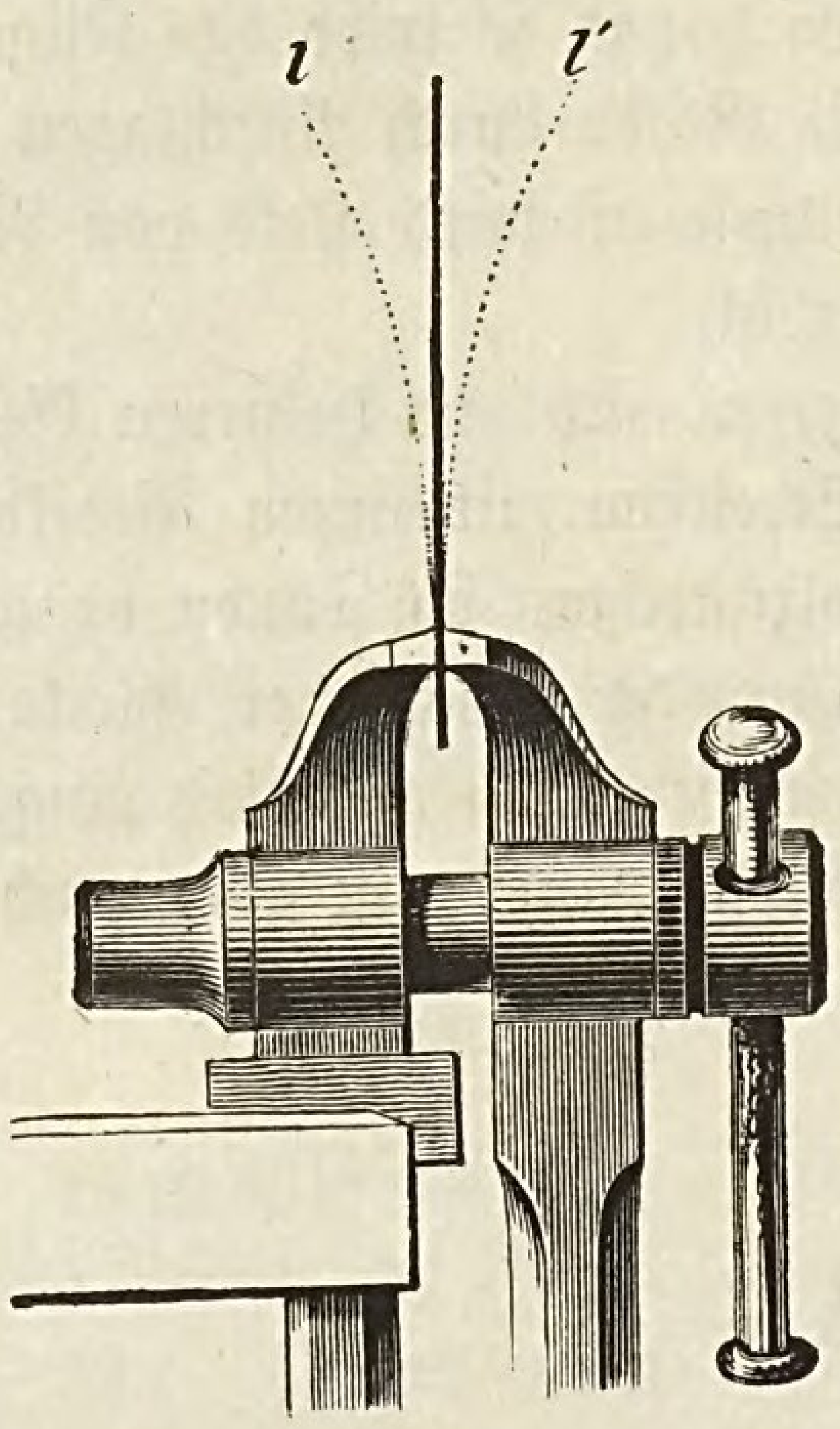
Das Kügelchen wird in eine lebhaft hüpfende Bewegung gerathen, sobald man den Rand der Glocke in seiner Nähe oder in 90° Abstand von demselben mit dem Fiedelbogen streicht.

Der Schall entsteht also durch eine zitternde Bewegung (Oscillationsbewegung) elastischer Körper; durch eine solche Oscillationsbewegung werden aber in der umgebenden Luft abwechselnd Verdich-

tungen und Verdünnungen erzeugt, welche die Oscillationsbewegung bis zu unserem Ohr fortpflanzen und hier den entsprechenden Nervenapparaten mitgetheilt, die Schallempfindung hervorrufen.

Suchen wir dies noch etwas anschaulicher zu machen! Wenn irgend ein elastischer Körper, z. B. ein elastischer Stahlstreifen, Fig. 130, dessen eines Ende fest eingeklemmt ist, aus seiner Gleichgewichtslage herausgebogen und dann sich selbst überlassen wird, so oscillirt er eine Zeit lang mit mehr oder minder großer Geschwindigkeit zwischen zwei Gränzlagen hin und her, wie dies in unserer Figur angedeutet ist. Indem sich nun das obere Ende des Stahlstreifens rasch von l nach l' bewegt, werden die zunächst rechts von ihm liegenden Luftschichten gleichfalls nach der rechten Seite hingetrieben und dadurch entsteht hier eine Verdichtung der Luft. Indem aber die comprimirte Luft sich in Folge ihrer Elasticität wieder ausdehnt, übt sie einen Stoß auf die zunächst folgenden Luftschichten aus und so wird die ursprünglich vom oscillirenden Körper ausgehende Bewegung der Reihe nach von einer Luftschicht zur anderen übertragen, und die Verdichtung, welche der oscillirende Körper zunächst nur in den benachbarten Schichten hervorgebracht hatte, pflanzt sich in Folge dessen mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit fort.

Fig. 130.



Während nun so die Verdichtungswelle mit gleichförmiger Geschwindigkeit sich fortpflanzt, schwingt der oscillirende Körper in seine Gränzlage zur Linken zurück; dadurch werden nun die zunächst rechts vom Stahlstreif befindlichen Luftschichten gleichfalls nach der Linken gerissen, es entsteht rechts vom Stahlstreif eine Luftverdünnung, die sich in gleicher Weise verbreitet, wie vorher die Verdichtung, indem nun die aufeinander folgenden Luftschichten der Reihe nach ihre Oscillationsbewegung nach der linken Seite hin ausführen.

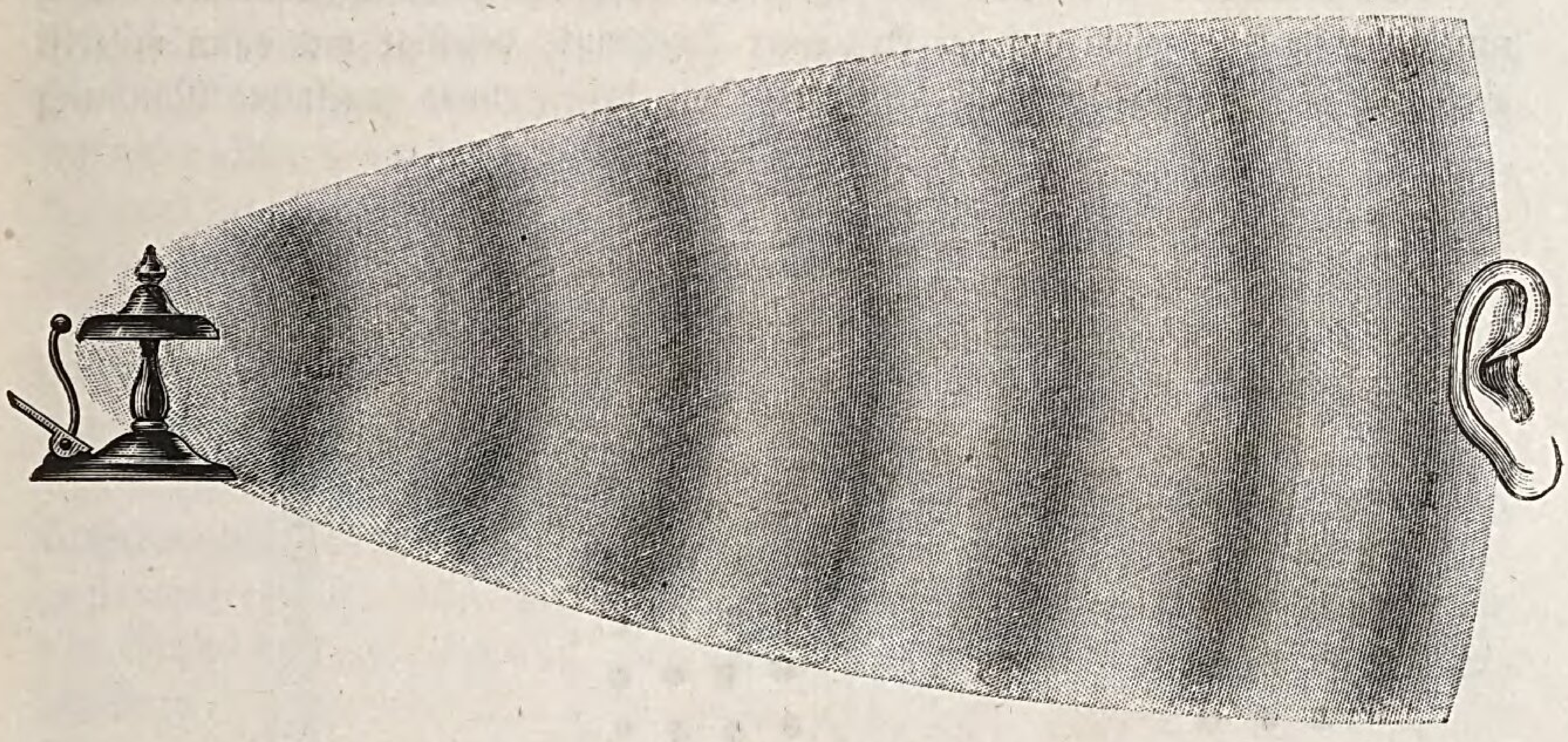
So erzeugt denn jede vollständige Oscillation des tönenden Körpers, d. h. jede hin und her gehende Bewegung desselben eine neue Verdichtungs- und eine ihr folgende Verdünnungswelle, welche alle mit gleicher Geschwindigkeit fortschreitend sich in gleichen Zwischenräumen einander folgen, wie dies durch Fig. 131 anschaulich gemacht werden soll, wo die Verdichtungswellen, welche von der etwa durch den Anschlag eines Hammers zum Tönen gebrachten Glocke ausgehen, durch dunklere Schattirung angedeutet sind.

So wird also durch Vermittelung der abwechselnden Verdichtungs- und Verdünnungswellen, welche durch die Ohrmuschel in das Ohr eintreten, das Trommelfell in Schwingungen versetzt, welche denen des tönenden Körpers entsprechen, wenn sie auch um so schwächer werden, je weiter sich das Ohr von dem tönenden Körper entfernt. Von dem Trommelfell werden diese Schwingungen durch die

Gehörknöchelchen auf den Gehörnerv übertragen, dessen Reizung auf eine uns völlig unbegreifliche Weise als Schall wahrgenommen wird.

Wenn das Trommelfell durch die in das Ohr eintretenden Luftwellen in regelmäßige Schwingungen versetzt wird, so nimmt man einen Ton wahr;

Fig. 131.



man hört ein Geräusch, wenn das Trommelfell in unregelmäßige Schwingungen versetzt wird. Ein Knall wird durch eine sehr heftige, aber rasch vorübergehende Lufterschütterung erzeugt.

Tonhöhe. Unter den verschiedenen Tönen unterscheiden wir höhere und tiefere. Der Ton einer kurzen Orgelpfeife ist höher als der einer langen. Der Ton einer Violinsaite wird um so höher, je mehr dieselbe durch Herabschieben des Fingers auf dem Griffbrett verkürzt wird. 61

Die Höhe oder Tiefe eines Tones hängt ab von seiner Schwingungszahl, d. h. von der Anzahl der Schwingungen, welche der tönende Körper in 1 Secunde macht, um diesen Ton hervorzubringen. Je größer diese Schwingungszahl ist, desto höher ist der Ton.

Die Schwingungen eines tönenden Körpers sind viel zu rasch, als daß man sie einzeln mit dem Auge verfolgen und zählen könnte. Unter den verschiedenen Vorrichtungen, welche man construirt hat, um die Schwingungszahl verschiedener Töne zu bestimmen, ist die Sirene die einfachste und verständlichste. Die Sirene besteht aus einer kreisförmigen Scheibe von recht steifem und festem Pappendeckel oder auch von Blech, deren Durchmesser 30 bis 32 Centimeter beträgt. In diese Scheibe sind 4 concentrische Löcherreihen eingeschlagen, wie dies Fig. 132 (a. f. S.) anschaulich macht. Der Durchmesser eines solchen Loches beträgt 5 Millimeter. Die innerste Löcherreihe hat 48 gleich weit von einander abstehende Löcher; die folgende hat deren 60, die dritte 72, die äußerste endlich besteht aus 96 gleich weit von einander abstehenden Löchern. In unserer Figur ist des kleineren Maßstabes wegen die Zahl der Löcher in jeder der concentrischen Löcherreihen nur halb so groß, als

sie eigentlich sein sollte, so daß die innerste Löcherreihe nur 24, die äußerste nur 48 Löcher hat. Auch mit einer solchen Scheibe könnte man den sogleich zu beschreibenden Versuch anstellen, er geht aber doch besser, wenn die Zahl der Löcher die oben angegebene ist, wenn also die Zahl der Löcher in den auf einander folgenden Reihen 48, 60, 72 und 96 ist.

Diese Scheibe wird nun mit ihrem Mittelpunkte auf irgend einer rasch umdrehbaren Axe, etwa auf der Axe einer Drehbank, befestigt und dann mittelst eines Röhrchens von Glas, Fig. 133, oder Holz, dessen etwas zugespitzte Mündung

Fig. 132.

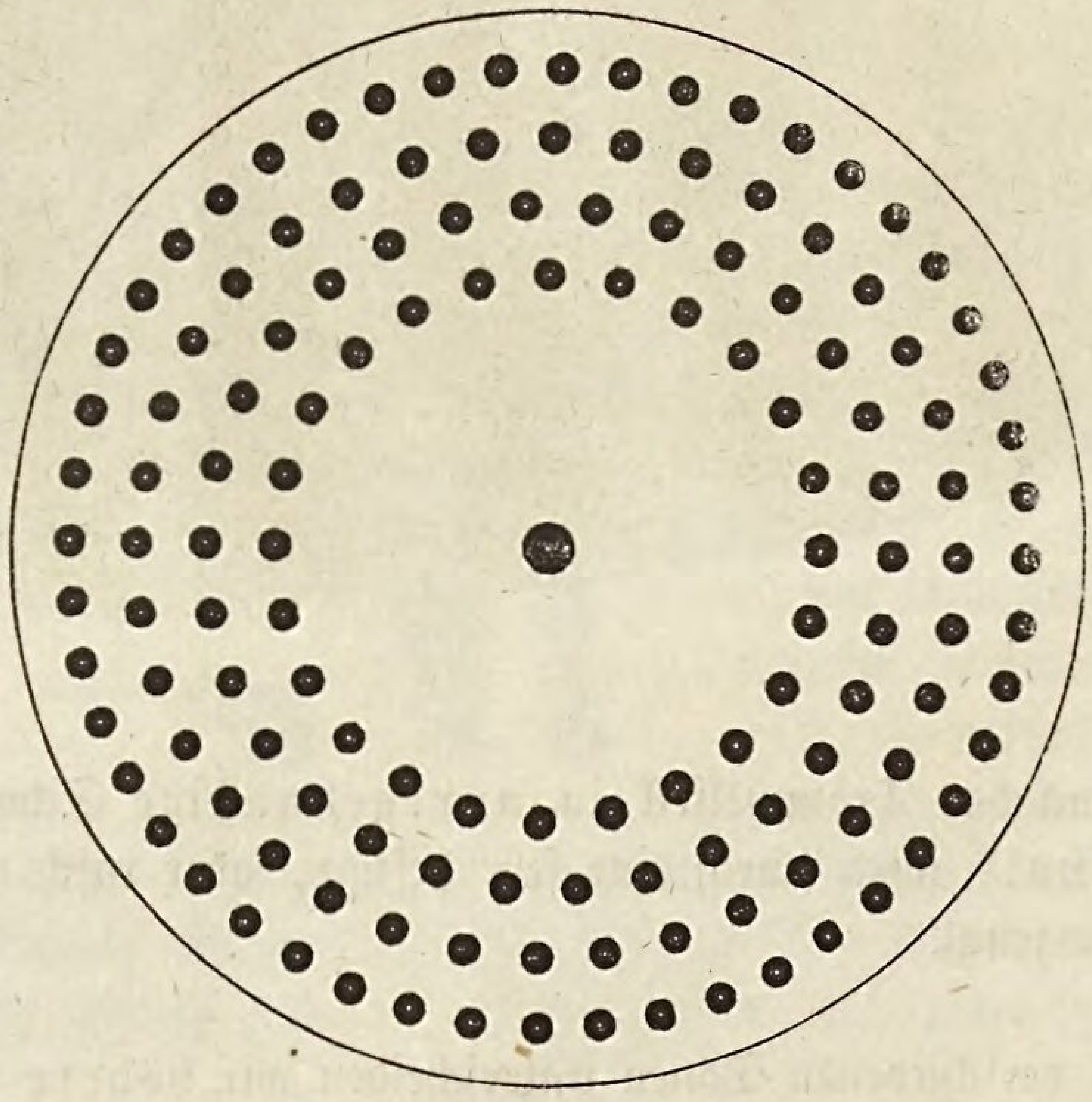
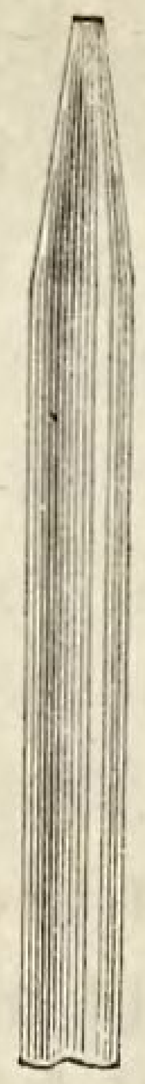


Fig. 133.



etwas kleiner ist als der Durchmesser eines Loches in der Scheibe, kräftig gegen eine Löcherreihe der möglichst rasch umgedrehten Scheibe geblasen. Man hört nun einen Ton, welcher erst bei rascher Rotation der Scheibe ziemlich rein wird, dessen Schwingungszahl aber leicht bestimmt werden kann. So oft nämlich ein Loch vor der Mündung des Röhrchens vorübergeht, dringt ein Luftstoß durch dasselbe hindurch und erzeugt eine Verdichtungswelle, welche sich in der bekannten Weise bis zum Ohre fortpflanzt. Nehmen wir z. B. an, die Scheibe mache 16 Umdrehungen in der Secunde, so gehen in jeder Secunde 16 mal 48, also 768 Löcher vor der Mündung des Röhrchens vorüber, in jeder Secunde werden also 768 Verdichtungswellen erzeugt, welche in gleichen Zwischenräumen an das Ohr schlagen; der gehörte Ton ist also ein solcher, welcher durch 768 Schwingungen in der Secunde erzeugt wird.

Führt man nun, während die Umdrehung der Scheibe mit gleicher Geschwindigkeit fortdauert, die Mündung des Röhrchens von der innersten Löcherreihe, deren Ton wir als **Grundton** bezeichnen wollen, zur zweiten, von der zweiten zur dritten, von der dritten endlich zur äußersten Löcherreihe, so hört man der Reihe nach die **große Terz**, die **Quint** und die **Octav** des Grundtons.

Während nun die innerste Löcherreihe 48 = 4.12 Löcher hat, hat die zweite deren 60 = 5.12; bei unveränderter Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe erzeugt also die zweite Löcherreihe 5 Verdichtungswellen, während die innerste deren nur 4 erzeugt, die Schwingungszahl der zweiten Löcherreihe ist also $^5/_4$ mal so groß als die der innersten, die Schwingungszahl der großen Terz verhält sich zu der des Grundtons wie 5 zu 4.

Die Löcherzahl der dritten Reihe ist 72 = 3.24, während die der innersten nur 48 = 2.24 ist. Da nun die dritte Löcherreihe die Quint der innersten giebt, so schließen wir daraus, daß die Schwingungszahl der Quint $^3/_2$ mal so groß ist, als die des Gruntons, daß also auf je 2 Schwingungen des Grundtons 3 Schwingungen seiner Quint kommen.

Die äußerste Löcherreihe hat doppelt so viel Löcher, wie die innerste, woraus folgt, daß die Schwingungszahl der Octav doppelt so groß ist, als die des Grundtons.

Vergleicht man die Töne der Sirene mit den Tönen bekannter musikalischer Instrumente, so findet man, daß der Ton der innersten Löcherreihe das zweigestrichene *g* ist, wenn die Scheibe 16 Umdrehungen in der Secunde macht, die Schwingungszahl des zweigestrichenen *g*, welches in unserer Notenschrift so



bezeichnet wird, ist also 16.48 = 768.

Kennt man einmal die Schwingungszahl eines musikalischen Tones, so kann man leicht die Schwingungszahl der übrigen Töne der Scala berechnen; für die Schwingungszahl des zweigestrichenen *c* ergiebt sich zunächst 768 . $^2/_3$ = 512.

Die nächst tieferen Octaven des zweigestrichenen *C* (c_2) sind

das eingestrichene *C* .	c_1	mit $^{512}/_2$	= 256
das kleine *C*	c_0	mit $^{256}/_2$	= 128
das große *C*	C_{-1}	mit $^{128}/_2$	= 64
das Contra *C* . . .	C_{-2}	mit $^{64}/_2$	= 32

Schwingungen in der Secunde. Die Schwingungszahl des dreigestrichenen *C* (c_3) ist 512.2 = 1024.

Die Schwingungszahlen der Töne, welche die *C*dur-Tonleiter der eingestrichenen Octave bilden, sind

Grundton . . .	c_1 . .	256.1	= 256
Second	d_1 . .	256 . $^9/_8$	= 288
Große Terz . .	e_1 . .	256 . $^5/_4$	= 320
Quart	f_1 . .	256 . $^4/_3$	= 341
Quint	g_1 . .	256 . $^3/_2$	= 384
Sext	a_1 . .	256 . $^5/_3$	= 427
Septime . . .	h_1 . .	256 . $^{15}/_8$	= 480
Octav	c_2 . .	256.2	= 512

Das gewöhnliche Stimmgabel-*a* (das eingestrichene *a*) soll also 427 Schwingungen in der Secunde machen.

62 **Die Saiteninstrumente.** Nachdem wir nun überhaupt gesehen haben, daß die musikalischen Töne durch eine Schwingungsbewegung elastischer Körper erzeugt werden, müssen wir sehen, wie die Töne in den bekanntesten musikalischen Instrumenten zu Stande kommen, und zwar wollen wir mit der Betrachtung der Saiteninstrumente beginnen.

Die bekanntesten und verbreitetsten unter den Saiteninstrumenten sind das Clavier, die Guitarre, die Zither, die Violine und die Baßgeige. Beim ersteren dieser Instrumente werden die Saiten durch das Anschlagen eines Hammers in Schwingungen versetzt, bei der Violine und der Baßgeige, die sich im Wesentlichen nur durch ihre Größe, also durch die Länge und Dicke der Saiten, unterscheiden, werden dieselben durch Streichen mit dem Fiedelbogen zum Tönen gebracht, weshalb sie auch als Streichinstrumente bezeichnet werden.

Wie nun auch die Saite zum Tönen gebracht werden mag, so unterliegen doch ihre Schwingungen folgenden Gesetzen, welche man an jedem der genannten Instrumente leicht nachweisen kann.

1) Bei unveränderter Spannung wird der Ton der gleichen Saite höher, also die Schwingungszahl größer, wenn man die Saite verkürzt. Man muß die Saite auf $^4/_5$, auf $^2/_3$, auf $^1/_2$ ihrer ursprünglichen Länge verkürzen, wenn sie die große Terz, die Quint, die Octav des Tones geben soll, den sie bei ihrer ganzen Länge giebt.

2) Der Ton wird höher, wenn die Saite unter sonst gleichen Umständen stärker gespannt wird.

Eine höchst wichtige Rolle spielt bei allen den genannten Instrumenten der Resonanzboden, dessen Bedeutung wir jetzt näher untersuchen wollen.

Wenn man eine stark angeschlagene Stimmgabel frei in die Luft hält, so wird man kaum einen Ton hören; man muß sie dem Ohr schon ziemlich nahe bringen, wenn man überhaupt einen Ton hören will. Setzt man die schwingende Stimmgabel mit ihrem Stil auf einen massiven Stein- oder Holzblock, so wird sich kaum eine Vermehrung der Tonstärke hören lassen, wohl aber tritt eine solche ein, wenn man die Stimmgabel auf ein dünnes Tischblatt, noch klangvoller aber wird der Ton der Stimmgabel, wenn man sie mit ihrem Stile auf den Kasten einer Guitarre oder einer Violine aufsetzt.

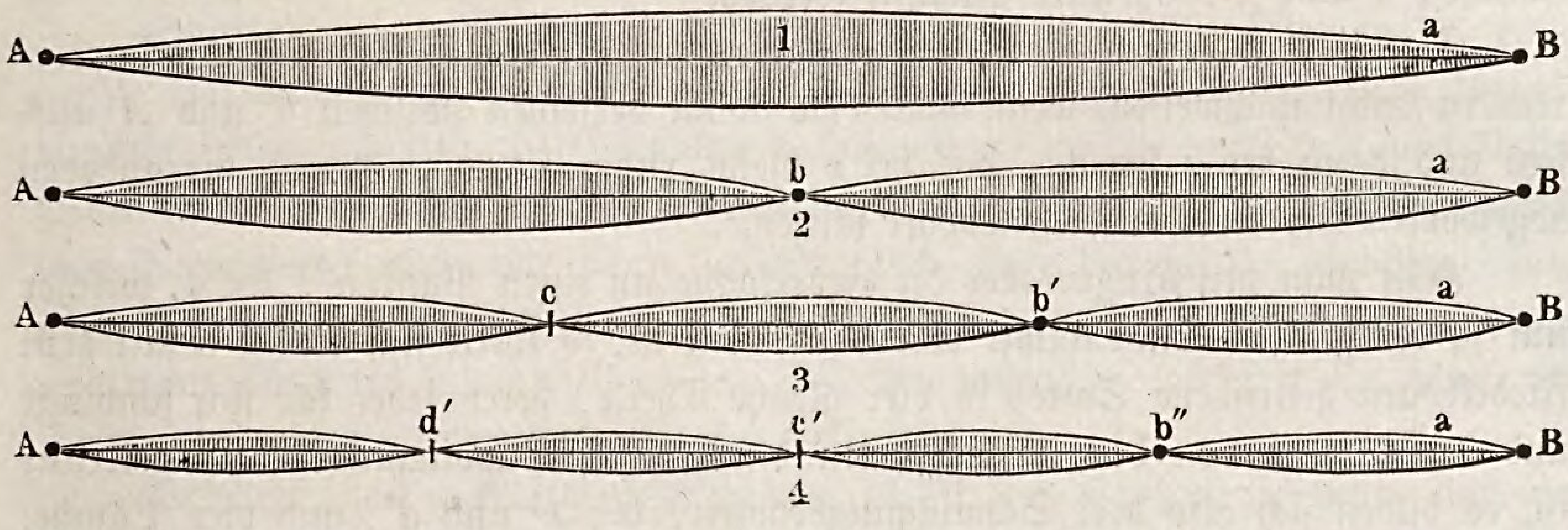
Während eine Saite auf der Guitarre, der Violine oder dem Klavier einen kräftigen Ton hören läßt, würde dieselbe Saite klanglos schwingen, wenn sie zwischen zwei Stiften ausgespannt wäre, welche in einen massiven Holz- oder Steinklotz eingelassen sind.

Diese Erscheinungen erklären sich nun in folgender Weise. Die an das Ohr schlagenden Schallwellen erzeugen hier nur dann einen gut hörbaren Ton, wenn sie schon bei ihrer Entstehung eine namhafte Ausdehnung haben. Das ist nun bei der schwingenden Saite nicht der Fall; sie durchschneidet die Luft, ist aber nicht im Stande, unmittelbar in der Luft Schallwellen von hinlänglicher Breite zu erzeugen. Wenn aber die Saite mit einem, aus dünnem elastischem Holze

gebildeten Kasten verbunden ist, so theilen sich die Schwingungen der Saite dem leicht beweglichen Deckel dieses Kastens (dem Resonanzboden) mit, der Resonanzboden selbst geräth in Schwingungen, welche gleiche Schwingungsdauer mit denen der oscillirenden Saite haben, er wird selbsttönend und vermittelt auf diese Weise die Hörbarkeit der an und für sich klanglosen Schwingungen der Saite. Man kann die Schwingungen des Resonanzbodens leicht sichtbar machen, wenn man auf den Resonanzboden einer Guitarre, oder noch besser eines Klaviers, feinen Sand streut und dann eine oder die andere Saite kräftig anschlägt. Man sieht dann, wie der Sand in eine tanzende Bewegung geräth, während die Saite schwingt.

Wenn man eine Saite *AB*, Fig. 134, welche in ihren Endpunkten *A* und *B* befestigt ist, bei *a* mit dem Fiedelbogen streicht, so schwingt sie ihrer ganzen

Fig. 134.

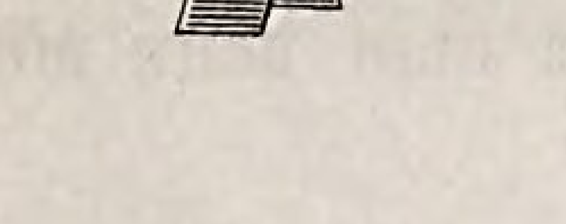


Länge nach, wie bei Nro. 1 Fig. 134 angedeutet ist, d. h. so, daß die Mitte der Saite auch die größten Schwingungen ausführt. Der Ton, welchen die Saite unter diesen Umständen hören läßt, wird ihr Grundton genannt.

Wenn man aber nun die Mitte der Saite bei *b* sanft mit einem Finger oder auch mit der Fahne einer Schreibfeder berührt und dann bei *a* streicht, so kann jetzt die Saite nicht mehr ihrer ganzen Länge nach schwingen, weil der Punkt *b* sich nicht bewegen kann. Zunächst schwingt die gestrichene Hälfte *bB* für sich; sie giebt aber die Octav des Grundtons, weil bei gleicher Spannung die Länge der Saite auf $1/2$ reducirt ist.

Wenn aber das Saitenstück *bB* schwingt, so theilen sich seine Schwingungen auch der anderen Saitenhälfte *bA* mit, welche nun gleichfalls doppelt soviel Schwingungen in der Secunde macht, als wenn die Saite *AB* ihrer ganzen Länge nach vibrirte. Man kann die Schwingungen des Saitenstücks *bA* leicht dem Auge sichtbar machen, wenn man kleine Papierreuter, d. h. kleine Papierstückchen, aufsetzt, welche so gebogen sind, wie es Fig. 135 in natürlicher Größe darstellt. Alle die zwischen *A* und *b* aufgesetzten Reuter gerathen in hüpfende Bewegung, sobald die Saite bei *a* gestrichen wird, und werden abgeworfen, wenn die Schwingungen lebhaft genug sind.

Fig. 135.



Wird die Saite AB, Fig. 134, mit dem Finger oder der Federfahne in einem Punkte b', Nro. 3, angehalten, welcher um $1/3$ der Saitenlänge AB von B absteht, so wird, wenn man bei a streicht, das 3mal kürzere Saitenstück $b'B$ auch 3mal schneller schwingen, als die ganze Saite AB, man wird also die Quint der Octav, oder mit anderen Worten, die Duodecime des Grundtones von AB hören.

Die Schwingungen des Saitenstückes $b'B$ pflanzen sich aber auch auf das Saitenstück $b'A$ in der Weise fort, daß sich Ab' in zwei Theile Ac und cb', Nro. 3, theilt, deren jedes so lang ist, wie $b'B$, und deren jedes für sich schwingt. Die beiden Saitenstücke Ac und cb' sind durch einen Punkt c getrennt, welcher in Ruhe bleibt, während die Saitenstücke Ac, cb' und $b'B$ in schwingender Bewegung sind. Dieser Ruhepunkt c wird Knotenpunkt oder Schwingungsknoten genannt, während die Stellen der Saite, wo die Bewegung am lebhaftesten ist, also die Stellen in der Mitte zwischen A und c, zwischen c und b', zwischen b' und B, Bäuche genannt werden.

Das Vorhandensein des Schwingungsknotens c, Nro. 3, läßt sich mit Papierreutern leicht nachweisen, wenn man eine Reihe derselben zwischen b' und A aufsetzt und dann bei a streicht; der bei c bleibt ruhig sitzen, während die anderen abgeworfen werden oder doch lebhaft tanzen.

Hält man den Finger oder die Federfahne an einen Punkt b'', Nr. 4, welcher um $1/4$ der ganzen Saitenlänge von B entfernt ist, so theilt sich die bei a mit dem Fiedelbogen gestrichene Saite, in vier gleiche Theile, deren jeder für sich schwingt und deren jeder von dem benachbarten durch einen Schwingungsknoten getrennt ist, es bilden sich also drei Schwingungsknoten, b'', c' und d', und vier Bäuche, wie Nro. 4 der Figur zeigt. Man hört nun die zweite Octav des Grundtones, da jeder Theil der Saite, also Ad', $d'c'$, $c'b''$ und $b''B$ 4mal schneller schwingt als die ganze Saite AB.

Hielte man den Finger an eine Stelle b''', welche um $1/5$ der Saitenlänge von B entfernt ist, so würde durch Streichen bei a ein Ton entstehen, dessen Schwingungen 5mal schneller sind, als die des Grundtones, man würde also die große Terz der zweiten Octav des Grundtones hören, während die Saite durch 4 Schwingungsknoten in 5 Bäuche getheilt wird.

Die Töne, welche 2mal, 3mal, 4mal, 5mal u. s. w. Schwingungen in der Secunde machen als der Grundton, werden die Obertöne dieses Grundtones genannt. Wenn also die Saite schwingt, wie in Nro. 2, Nro. 3 und Nro. 4 der Figur 134 angedeutet ist, so hört man ihren ersten, ihren zweiten, ihren dritten Oberton.

Um die eben besprochenen Versuche anzustellen, hat man einen besonderen Apparat, das Monochord, construirt, welches im Wesentlichen aus einer Saite besteht, welche zwischen zwei festen Stegen über einem entsprechend geformten Resonanzboden ausgespannt ist. Es ist aber gar kein besonderes Instrument zu diesem Zwecke nöthig, da man den Versuch mit jeder Guitarre leicht anstellen kann. Man lege nur die Guitarre so vor sich auf den Tisch, daß man das Griffbrett zur Rechten hat, daß also die dünnste Saite gegen die Person gerichtet ist, welche den Versuch anstellt. Auf dieser dünnsten Saite markirt man dann mit

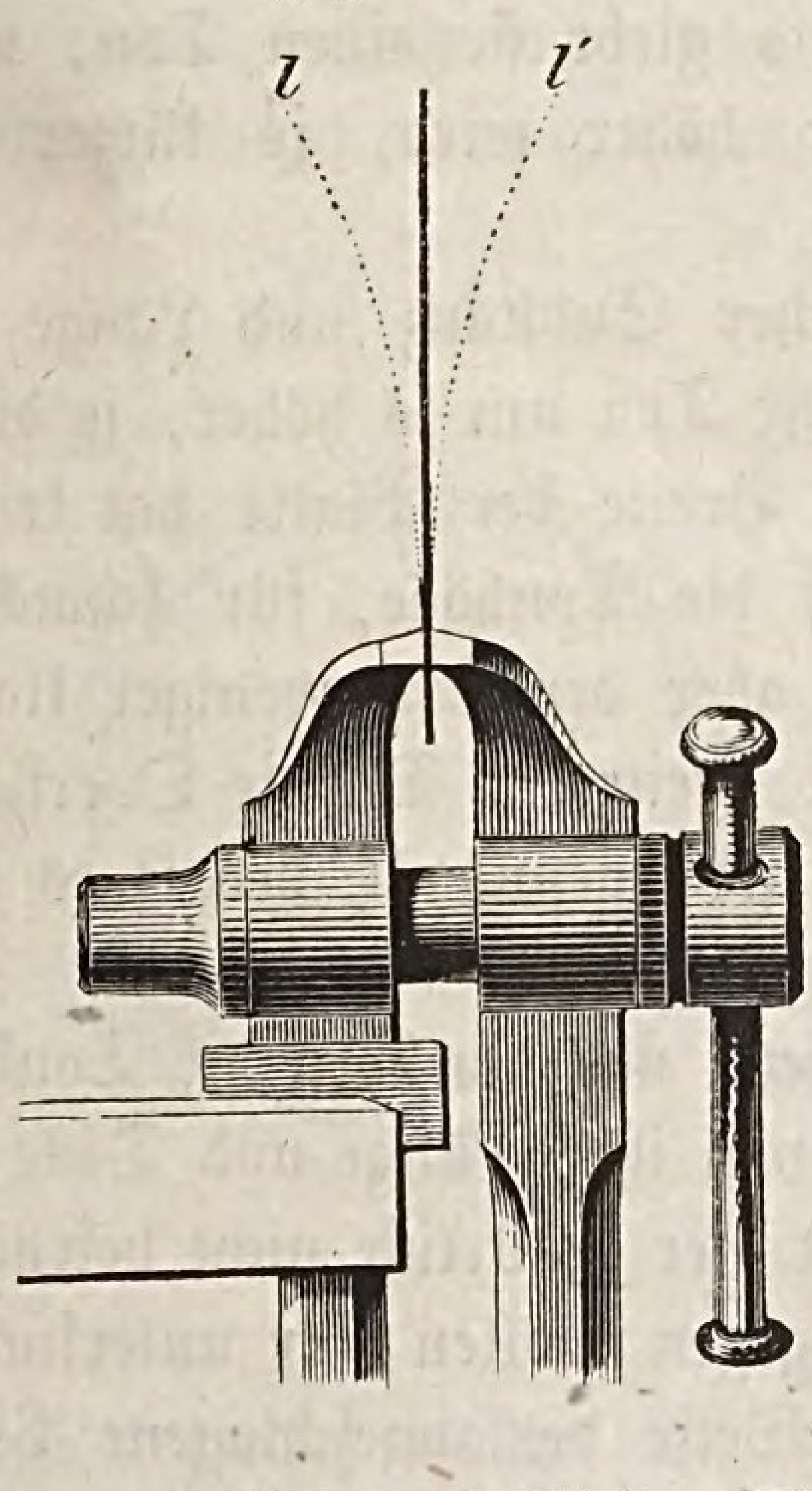
etwas Tinte möglichst genau die Punkte *b*, *b'*, *c* u. s. w. und streicht die Saite nahe an ihrem Ende zur rechten Seite mit dem Fiedelbogen. Durch Unterlagen muß man dafür sorgen, daß die Saiten gehörig horizontal liegen. Der Versuch gelingt nicht, wenn man die Saite durch Anschlag oder Zupfen zum Tönen bringt, weil in diesem Falle die angehaltene Stelle der Saite zu gewaltsam erschüttert wird. Auch mit einer Violine läßt sich derselbe Versuch anstellen, wenn auch weniger bequem.

63 **Tönende Schwingungen von Stäben, Platten und Glocken.** Eine Saite, sei es nun eine Metall- oder eine Darmsaite, erlangt nur durch eine entsprechende Spannung die nöthige Elasticität, um tönende Schwingungen auszuführen. Anders verhält es sich mit Stäben, Platten und Glocken, welche dick genug sind, um auch ohne äußere Spannung durch ihre eigene Elasticität zu oscilliren, wenn sie auf irgend eine Weise aus ihrer Gleichgewichtslage herausgebracht worden sind.

Klemmt man z. B. einen ungefähr 1 Millimeter dicken Stahldraht, etwa einen Strickstock, so in einen Schraubstock ein, daß das oben frei hervorragende Ende ungefähr 20 Centimenter lang ist, so geräth der Draht in lebhafte Vibrationen, wenn man ihn nach der einen Seite hin aus seiner Gleichgewichtslage herausbiegt und ihn dann losläßt; das obere Drahtende schwingt dann, wie man mit dem Auge verfolgen kann, zwischen den sich einander immer mehr nähernden Gränzen hin und her, Fig. 136, um ungefähr nach drei Secunden zur Ruhe zu kommen. Ein Ton ist dabei nicht hörbar.

Verkürzt man das frei schwingende Stück des Drahtes so weit, daß nur noch ein ungefähr 10 Centimeter langes Sück vom Schraubstock in die Höhe ragt, so sind nun die Schwingungen desselben weit schneller, der Draht kommt rascher zur Ruhe, läßt aber, während er schwingt, bereits einen tiefen Ton hören. Die Schwingungen des Drahtes werden nun um so schneller, sein Ton wird also um so höher, je mehr man die Länge desselben verkleinert, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man das aus dem Schraubstock hervorragende Stück auf die Länge von 5, von 4 u. s. w. Centimeter verkürzt.

Fig. 136.

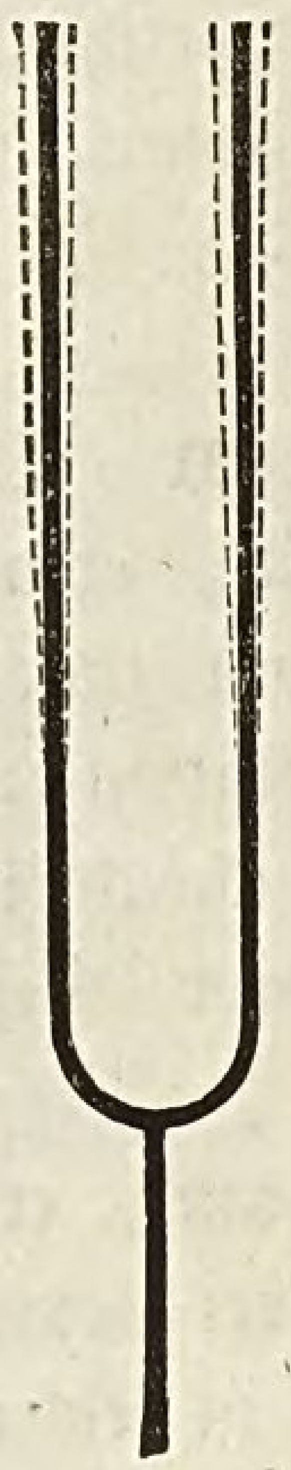


Die auf diese Weise erzeugten Töne sind keinesweg klangvoll, sie sind nur in der Nähe des Drahtes hörbar; um sie besser hörbar zu machen, müßte der schwingende Draht in passende Verbindung mit einem Resonanzboden stehen.

Die allbekannte Stimmgabel ist eigentlich nichts anderes als eine Verbindung zweier einander paralleler elastischer Stahlstäbe, von denen jeder in der eben betrachteten Weise schwingt, Fig. 137 (a. f. S.), wenn die Stimmgabel angeschlagen oder auf eine andere Art ins Tönen gebracht wird.

Der Ton der Stimmgabel ist nur schwach, wenn man sie frei in die Luft hält, er wird aber sogleich stärker und klangvoller, wenn man sie mit ihrem Stil auf einen Resonanzboden oder auch nur auf einen Tisch aufsetzt. Da der Ton der Stimmgabel unverändert derselbe bleibt, wenn nichts von derselben abgefeilt wird, so benutzt man sie, um andere Instrumente nach derselben zu stimmen. Die gewöhnliche Stimmgabel soll das eingestrichene a (a_1 siehe S. 121) geben, also 427 Schwingungen in der Secunde machen. Allerdings hat man in den meisten Orchestern die Tonhöhe der Instrumente nach und nach gesteigert, so daß man z. B. in der Pariser Oper für das eingestrichene a einen Ton nahm, welcher 440, und endlich einen solchen, welcher durch 449 Schwingungen in der Secunde erzeugt wird, also fast um $\frac{1}{2}$ Ton höher ist, als das auf S. 121 besprochene a_1.

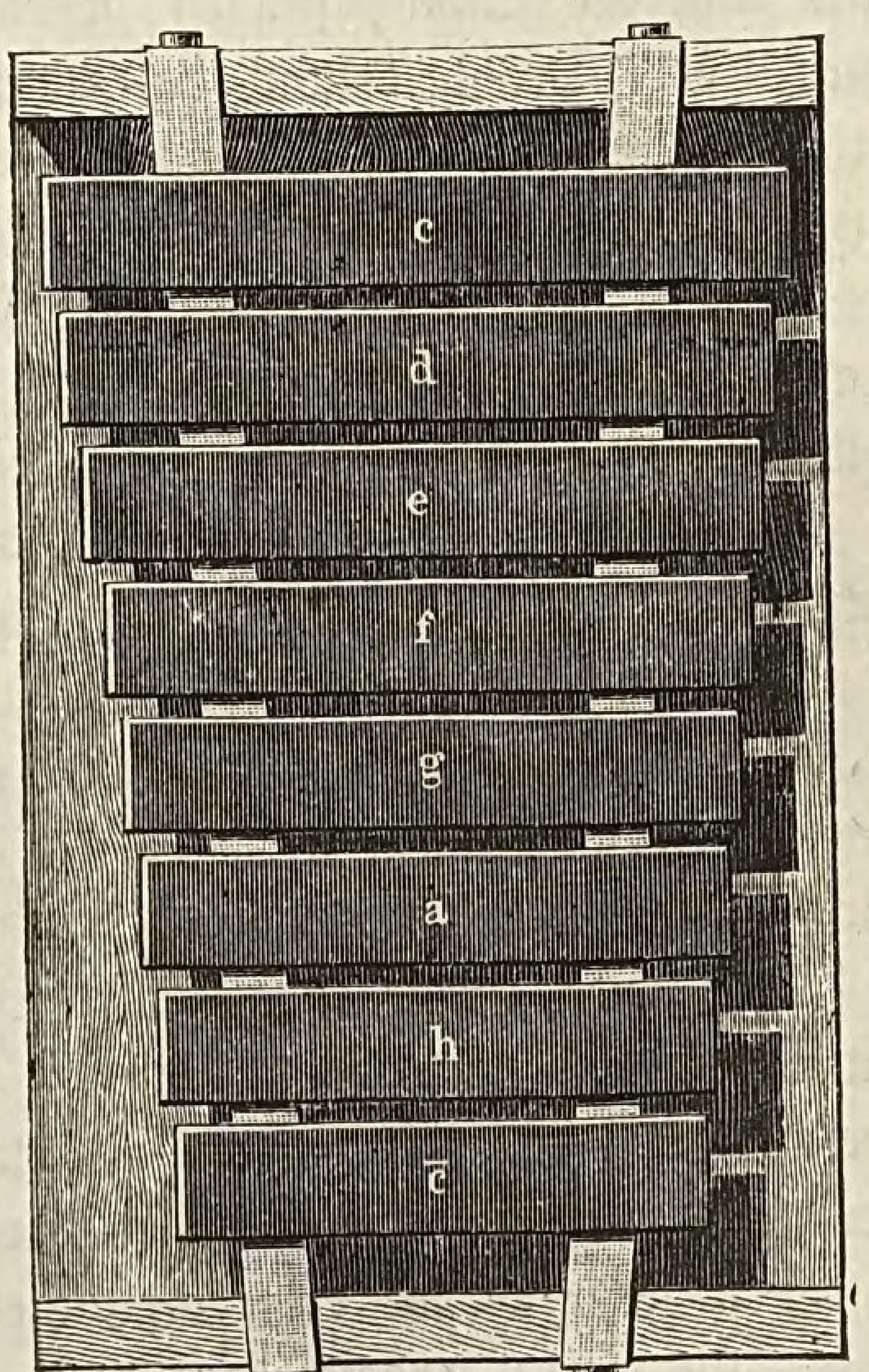
Fig. 137.



Der Ton der Stimmgabel wird höher, wenn man ihre Schenkel durch Abfeilen verkürzt, er wird tiefer, wenn man die vibrirenden Schenkel dünner feilt, namentlich aber, wenn man dies Abfeilen an ihrem unteren Ende und an dem Bogen vornimmt, welcher die beiden Schenkel verbindet.

In allen Spielwaarenläden werden unter dem Namen Glasharmonika und Stahlharmonika Instrumente verkauft, welche aus Platten von Glas oder Stahl bestehen, welche bei gleicher Dicke und Breite ungleiche Längen haben. Sie sind auf zwei schmalen Bändern aufgelegt und befestigt, welche auf einem passenden Stativ in convergirender Richtung ausgespannt sind, Fig. 138. Wenn eine solche Platte mit einem hölzernen Hämmerchen geschlagen wird, so giebt sie einen Ton, welcher um so höher wird, je kürzer die Platte ist.

Fig. 138.



Bei gleicher Substanz und Länge der Platte ist ihr Ton um so höher, je dicker sie ist; die Breite der Platte hat keinen Einfluß auf die Tonhöhe, für schmälere Platten ist aber der Ton weniger klangvoll als für breitere. Da die Oberfläche der Platten groß genug ist, bedarf es hier keines Resonanzbodens.

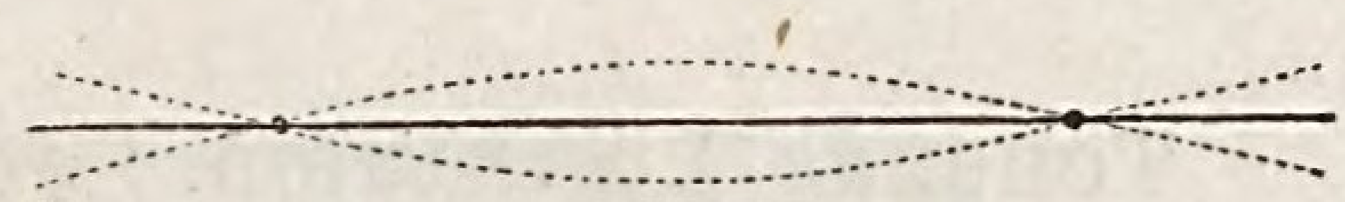
Das Gesetz, nach welchen die Tonhöhe der Platten von ihrer Länge und Dicke abhängt, kann hier natürlich nicht betrachtet werden, dagegen wollen wir untersuchen, in welcher Weise die angeschlagene Platte schwingt. Zu diesem Zweck wird die in horizontaler Lage befindliche Platte mit etwas Schreibsand fein überstreut und dann

durch einen Schlag mit dem Hämmerchen zum Tönen gebracht. Der Sand gelangt dann in eine hüpfende Bewegung und sammelt sich in den beiden geraden Linien *aa* und *bb*, Fig. 139, von denen jede ungefähr um $^1/_5$ der ganzen Stablänge von dem nächsten Stabende entfernt ist. Hier in *aa* und *bb* bleibt dann der Sand ruhig liegen, zum Beweis, daß sich hier Knoten bilden, welche an der vibrirenden Bewegung der übrigen Theile des Stabes keinen Theil nehmen. Der Stab schwingt also in der Weise, wie es durch Fig. 140 angedeutet wird. Es folgt

Fig. 139.



Fig. 140.



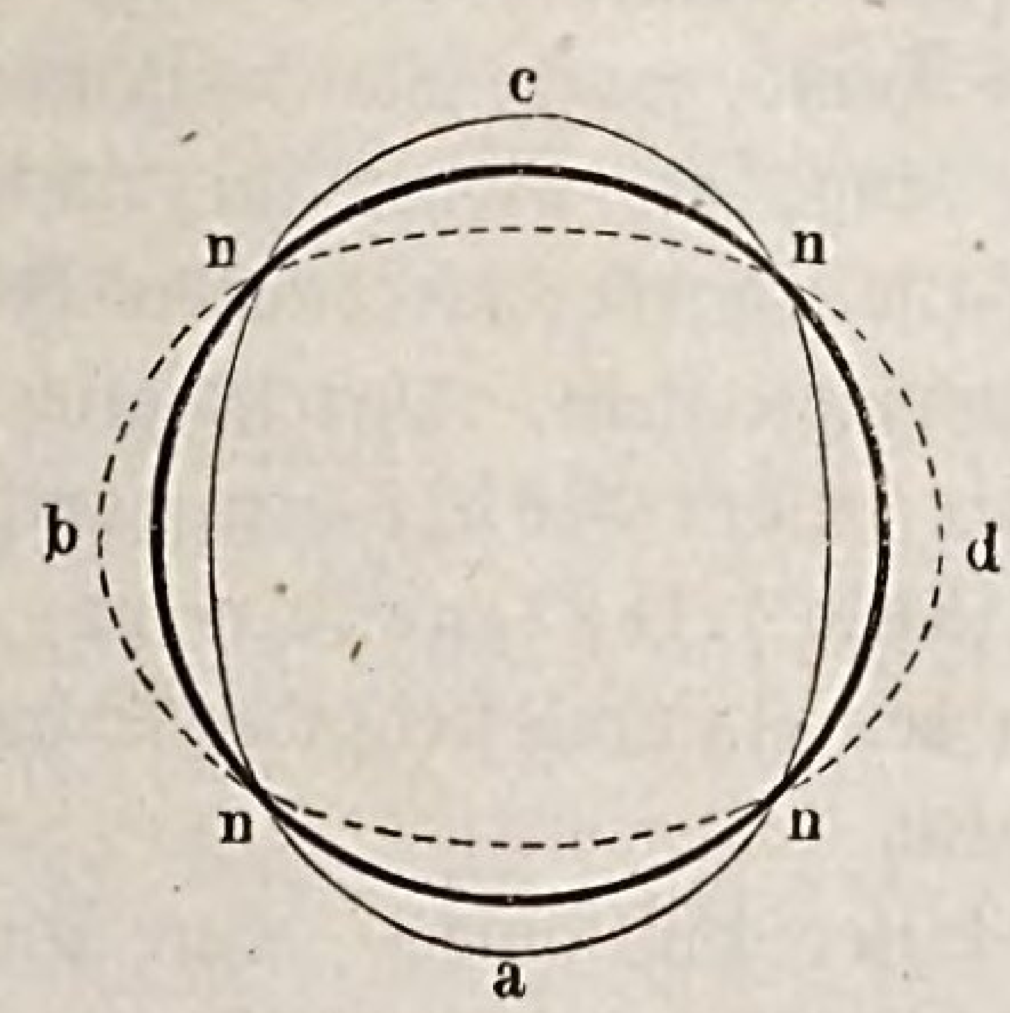
daraus, daß man die Platte so auflegen und befestigen muß, daß sie möglichst genau in ihren Schwingungsknoten unterstützt ist.

Ein Instrument der Art mit Stahlstäben ist es, welches Papageno in der Zauberflöte spielt. Werden die Stahlstäbe durch Holzstäbe ersetzt, welche auf Strohseilen aufgelegt sind, so erhält man die sogenannte Strohfiedel, welche manchmal auch zu musikalischen Productionen gebraucht wird.

Die Schwingungen quadratischer, runder u. s. w. Platten, welche in irgend einem Punkte ihrer Oberfläche fest eingeklemmt sind, und die an ihnen zu beobachtenden Klangfiguren können wir hier um so weniger betrachten, als sie in keiner Weise bei der Construction musikalischer Instrumente zur Anwendung kommen; dagegen wollen wir uns noch zur Betrachtung der Glocken, welche in mannigfacher Form und Größe als Tonquellen benutzt werden, wenden.

Wenn eine Glocke ihren tiefsten Ton giebt, so theilt sie sich in vier schwingende Theile, welche durch vier vom Rande der Glocke zum Knopfe gehende Knotenlinien (Ruhelinien) getrennt sind. In Fig. 141 stelle der stark ausgezogene Kreis den Rand der Glocke im Ruhezustand dar, so wird sie, bei *a* angeschlagen, so schwingen, daß der Rand abwechselnd die Gestalt der fein ausgezogenen, und dann wieder die der punktirten elliptischen Linie annimmt; es bilden sich also hier vier Bäuche, nämlich bei *a*, *b*, *c* und *d*. Die vier mit *n* bezeichneten Punkte sind Ruhepunkte, und wenn man sich von diesen vier Punkten auf der Oberfläche der Glocken Linien nach dem Knopfe gezogen denkt, so sind dies die Knotenlinien.

Fig. 141.



Die Knoten tönender Glocken lassen sich in folgender Weise sehr schön sichtbar machen. Eine Käseglocke, welche mit ihrem Knopfe in einen Holzfluß eingekittet ist, oder welche man in einen Schraubstock eingeklemmt hat (S. 117), fülle man zur Hälfte ihrer Höhe mit Wasser, dessen Oberfläche man mit etwas Hexenmehl (semen lycopodii, Bärlappsamen) bestreut, und streiche dann einen beliebigen Punkt des

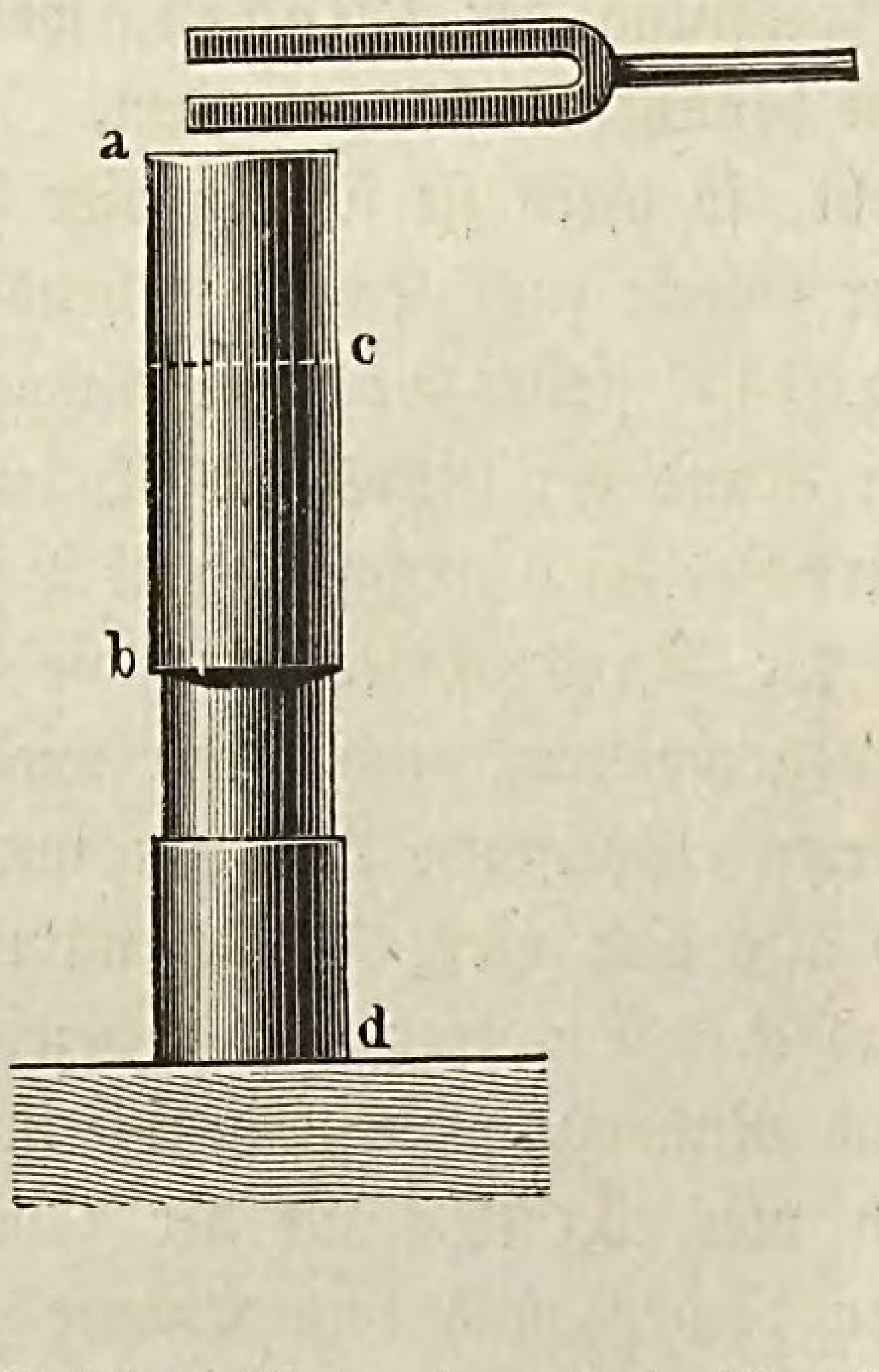
Glockenrandes mit dem Fiedelbogen. Man sieht dann, wie das Wasser an der Stelle der Bäuche lebhaft aufgewirbelt wird, so daß sich hier förmlich gekräuselte Wasserberge bilden, während das Wasser bei den Knoten ruhig bleibt.

Die in Fig. 141 dargestellte Schwingungsweise der Glocke entspricht dem Falle, daß sie ihren tiefsten Ton giebt. Für höhere Töne theilt sich ihr Umfang durch 6, 8, 10 u. s. w. Schwingungsknoten in 6, 8, 10 u. s. w. Bäuche. Sechs Schwingungsknoten erhält man z. B., wenn man den Rand der Glocke, Fig. 129, an irgend einem Punkte mit dem Finger festhält und 30° davon entfernt mit dem Fiedelbogen streicht.

64 **Tönende Luftsäulen.** Es ist schon erwähnt worden, daß eine angeschlagene frei in die Luft gehaltene Stimmgabel sehr schwach tönt, daß ihr Ton erst kräftiger wird, wenn man ihren Stil auf einen Resonanzboden setzt. Den gleichen Zweck kann man erreichen, wenn man die Stimmgabel in der durch Fig. 142 veranschaulichten Weise über eine oben offene, unten geschlossene Röhre von entsprechender Weite und Länge hält. Wendet man zu diesem Zweck eine Stimmgabel an, welche das eingestrichene *a* giebt, so wird der Ton laut und kräftig, sobald die angeschlagene Gabel über eine Röhre gehalten wird, welche bei 3 bis 4 Centimeter Durchmesser 20 Centimeter lang ist.

Zur Anstellung dieses Versuches kann man eine nach Art der Federköcher verfertigte Röhre von Pappendeckel anwenden. Ist die beiderseits offene Röhre *a b* so weit ausgezogen, daß die Mündung bei *a* 20 Centimeter hoch über dem Boden bei *d* steht, so hört man einen kräftigen Ton, wenn die angeschlagene a_1 Stimmgabel über die Röhre gehalten wird. Die erwähnte Verstärkung des Tones findet aber nicht mehr statt, wenn die Länge der Röhre durch Herabschieben oder Aufziehen von *ab* vermindert oder vermehrt wird. Die Verstärkung des Tones, welche man wahrnimmt, wenn die Länge der Röhre im richtigen Verhältniß zur Tonhöhe der darüber gehaltenen Stimmgabel steht, rührt lediglich daher, daß die in der Röhre eingeschlossene Luftsäule selbsttönend wird, daß sie also in den Zustand stehender Schwingungen geräth.

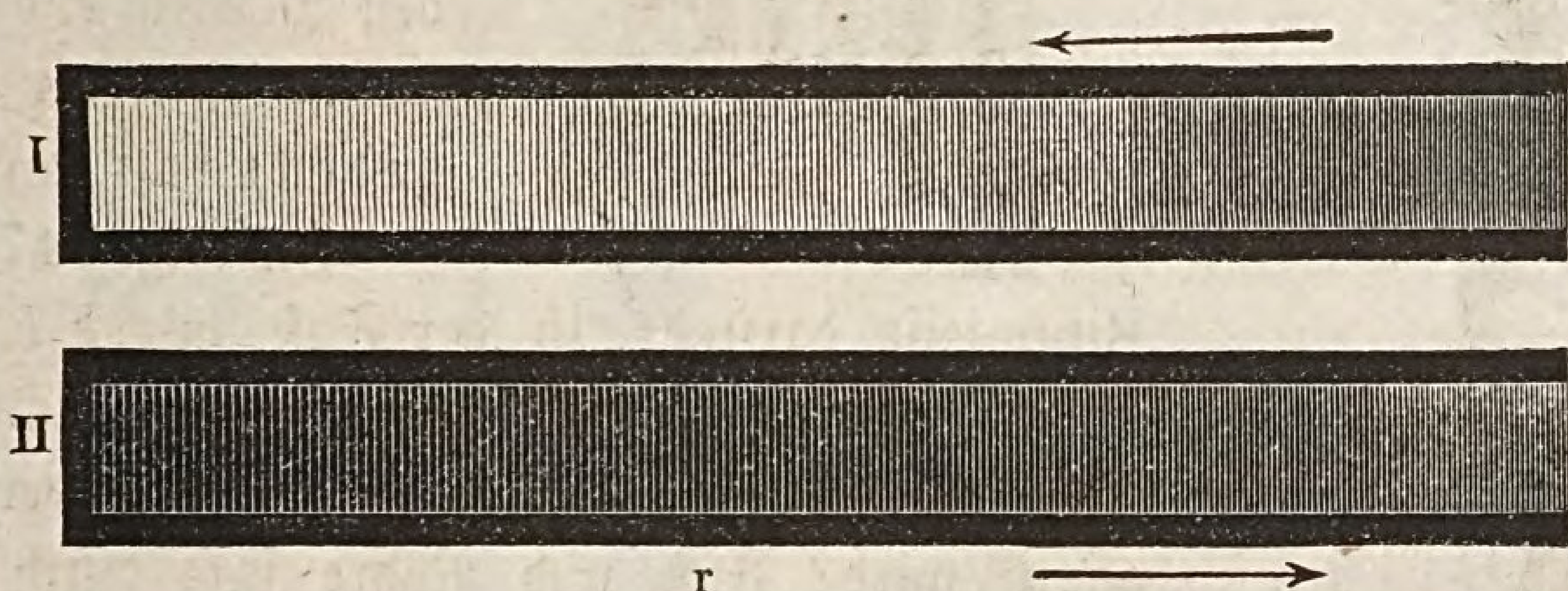
Fig. 142.



Welcher Art aber sind die Schwingungen dieser Luftsäule? Aus Untersuchungen, denen wir hier nicht weiter folgen können, geht hervor, daß wenn die in der Röhre eingeschlossene Luftsäule so schwingt, daß sie ihren tiefsten Ton giebt, alle Luftschichten in der Röhre sich gleichzeitig gegen den Boden hin und dann wieder gleichzeitig vom Boden weg bewegen, so daß am Boden der Röhre abwechselnd eine Verdichtung und dann wieder eine Verdünnung entsteht, während an der Mündung der Röhre zwar ein lebhaftes Hin- und Hergehen der Luft-

schichten, aber keine Verdichtung und Verdünnung stattfindet, wie durch Nro. I und II, Fig. 143, anschaulicher gemacht werden soll, wo die stärkere Schattirung Verdichtung, die schwächere Schattirung aber Verdünnung darstellen soll. In Nro I ist der Moment dargestellt, wo am Boden die stärkste Verdünnung stattfindet; von diesem Moment an bewegen sich alle Luftschichten in der Röhre gegen den Boden hin, wie der Pfeil oben andeutet, bis hier die stärkste Verdichtung eintritt (Nro. II), worauf dann alle Luftschichten gleichzeitig wieder vom Boden weggehen u. s. w.

Fig. 143.



Wir haben gesehen, daß die Röhre eine bestimmte Länge (20 Centimeter) haben muß, wenn die in ihr eingeschlossene Luftsäule für den einfallenden Ton a_1 in selbsttönende Schwingungen versetzt werden soll. Hielte man über die 20 Centimeter lange Röhre eine angeschlagene Stimmgabel, welche den Ton c_1 (256 Schwingungen in der Secunde) giebt, so würde kein Mitklingen der in der Röhre eingeschlossenen Luftsäule erfolgen.

Je tiefer der einfallende Ton ist, desto länger muß die Röhre werden, wenn die in ihr eingeschlossene Luftsäule zum Selbsttönen gebracht werden soll. Für die Töne

c_1 e_1 g_1 c_2 e_2

müßte die Länge der Röhre

$33\frac{1}{3}$ $26\frac{2}{3}$ $21\frac{1}{9}$ $16\frac{2}{3}$ $13\frac{1}{3}$

Centimeter betragen; oder mit anderen Worten, wenn die in einer einerseits offenen, andererseits gedeckten Röhre von $33\frac{1}{3}$, $26\frac{2}{3}$, $21\frac{1}{9}$, $16\frac{2}{3}$ Centimeter Länge eingeschlossenen Luftsäulen in der bezeichneten Weise vibriren, so würden dadurch die Töne c_1, e_1, g_1 und c_2 erzeugt.

Pfeifen. Nach dem vorigen Paragraphen kann die Luftsäule in einer 65
gedeckten Röhre, Pfeife, dadurch in tönende Vibrationen gesetzt werden, daß die Wellen eines entsprechenden Tones in das offene Ende des Rohres eintreten und am Boden zurückgeworfen, reflectirt werden. Es giebt jedoch noch andere Arten, eine solche Luftsäule in tönende Vibrationen zu setzen, wovon wohl die einfachste die durch Fig. 144 (a. f. S.) erläuterte sein dürfte. Man halte irgend ein Röhrchen von Glas, Metall oder Schilfrohr, welches 8 bis 15 Millimeter weit oben offen und unten geschlossen ist, vor die Unterlippe des Mundes und blase dann mit entsprechender Stärke über die Mündung des Rohres hin, so wird ein kräftiger Ton erschallen, der um so höher wird, je kürzer man das Rohr macht. Durch Vereinigung mehrerer solcher Röhrchen von verschiedener Länge wird die

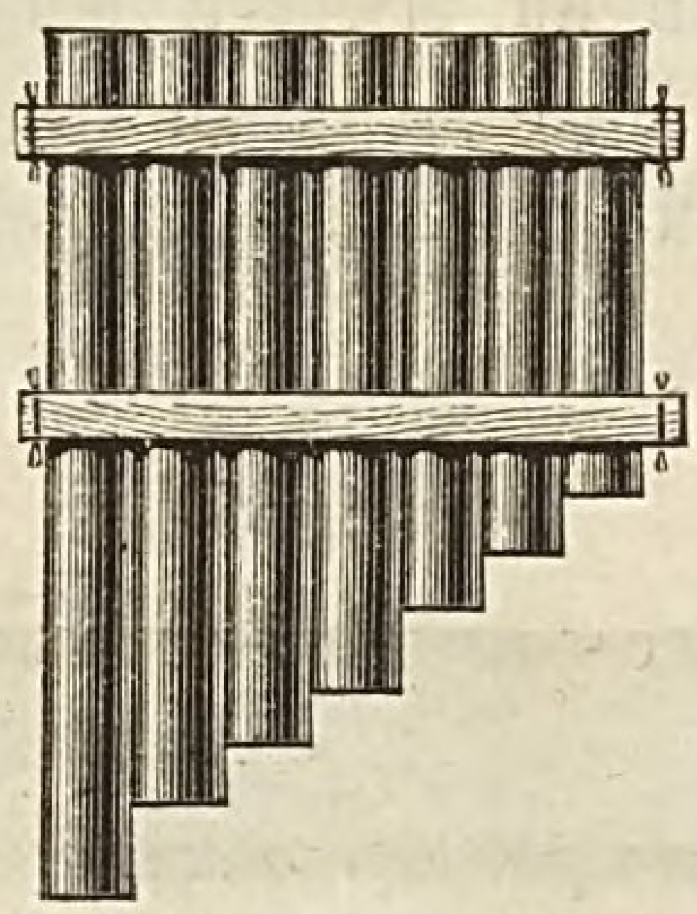
Pansflöte oder die Syrinx, Fig. 145, gebildet, welche schon den alten Griechen bekannt war.

Eine für musikalische Instrumente geeignetere Art, die Luftsäule in Röhren ins Tönen zu bringen, ist die bei den Orgelpfeifen angewandte, deren Einrichtung durch Fig. 146 und Fig. 147 erläutert wird. Man unterscheidet in ihnen den Fuß, den Mund und die Röhre, welche entweder offen oder gedeckt sein kann.

Fig. 144.



Fig. 145.



In Fig. 147, welche eine Zinnpfeife darstellt, ist der Fuß mit *FF*, die Röhre mit *RR* bezeichnet. Die Röhre hat an ihrem unteren Ende vorn eine Oeffnung *ab*, welche der Mund genannt wird; Fuß und Röhre sind durch eine dünne Zinnplatte getrennt; zwischen der vorderen Kante dieser Platte, welche den Boden der Schallröhre bildet, und der vorderen Wand des Fußes, bleibt eine schmale Spalte, durch welche die unten in den Fuß eingeblasene Luft austritt und, sich an der oberen Kante des Mundes brechend, die Luftsäule in der Röhre *RR* in stehende Schwingungen versetzt.

Die Einrichtung der hölzernen Orgelpfeifen ist aus dem Durchschnitt, Fig. 146, zu ersehen. Die in den Fuß eingeblasene Luft dringt aus dem Behälter *K* durch einen schmalen Spalt *cd* hervor, und bricht sich an der oberen Kante *ab* des Mundes, von welchem unsere Figur nur die linke Hälfte *abcd* zeigt.

Eine gedeckte Pfeife von $33^1/_3$ Centimeter Länge giebt bei nicht zu starkem Anblasen den Ton c_1. Demnach muß die Länge der gedeckten Pfeife

$66^2/_3$ Centimeter sein, wenn sie den Ton c_0,
$133^1/_3$ „ „ „ „ „ „ C_{-1},
$266^2/_3$ „ „ „ „ „ „ C_{-2}

geben soll (S. 121). Es versteht sich von selbst, daß die längeren Röhren auch entsprechend weiter sein müssen, als die kürzeren.

In Fig. 146 ist der Durchschnitt einer Pfeife dargestellt, welche oben (d. h. an dem dem Munde entgegengesetzten Ende) nicht geschlossen (gedeckt), sondern offen ist. Auch solche Röhren geben, in der gleichen Weise angeblasen, einen kräftigen schönen Ton, welcher aber die nächst höhere Octav von demjenigen ist, welchen man von einer gleich langen gedeckten Pfeife erhält. Eine offene Pfeife also von

$66^2/_3$ Centimeter Länge giebt den Ton c_1
$133^1/_3$ „ „ „ „ „ c_0
$266^2/_3$ „ „ „ „ „ C_{-1}

Die Art und Weise, wie die Luftsäule in einer offenen Pfeife schwingt, ist von der in einer gedeckten Pfeife verschieden; es bildet sich nämlich ein Schwin-

Fig. 146.

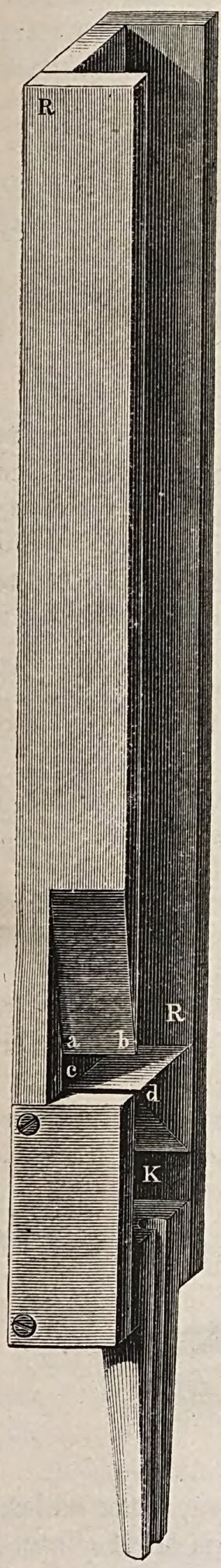
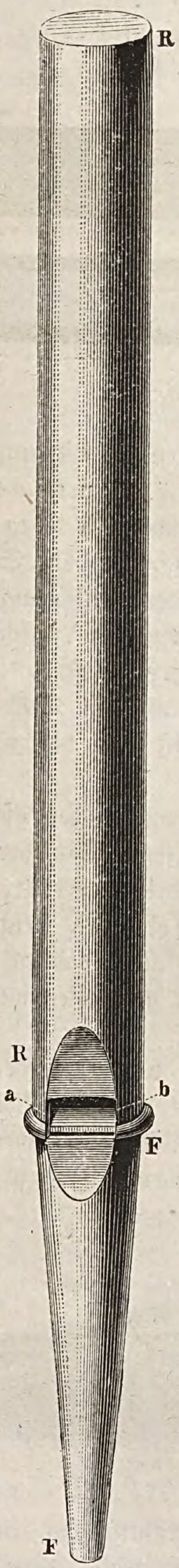


Fig. 147.



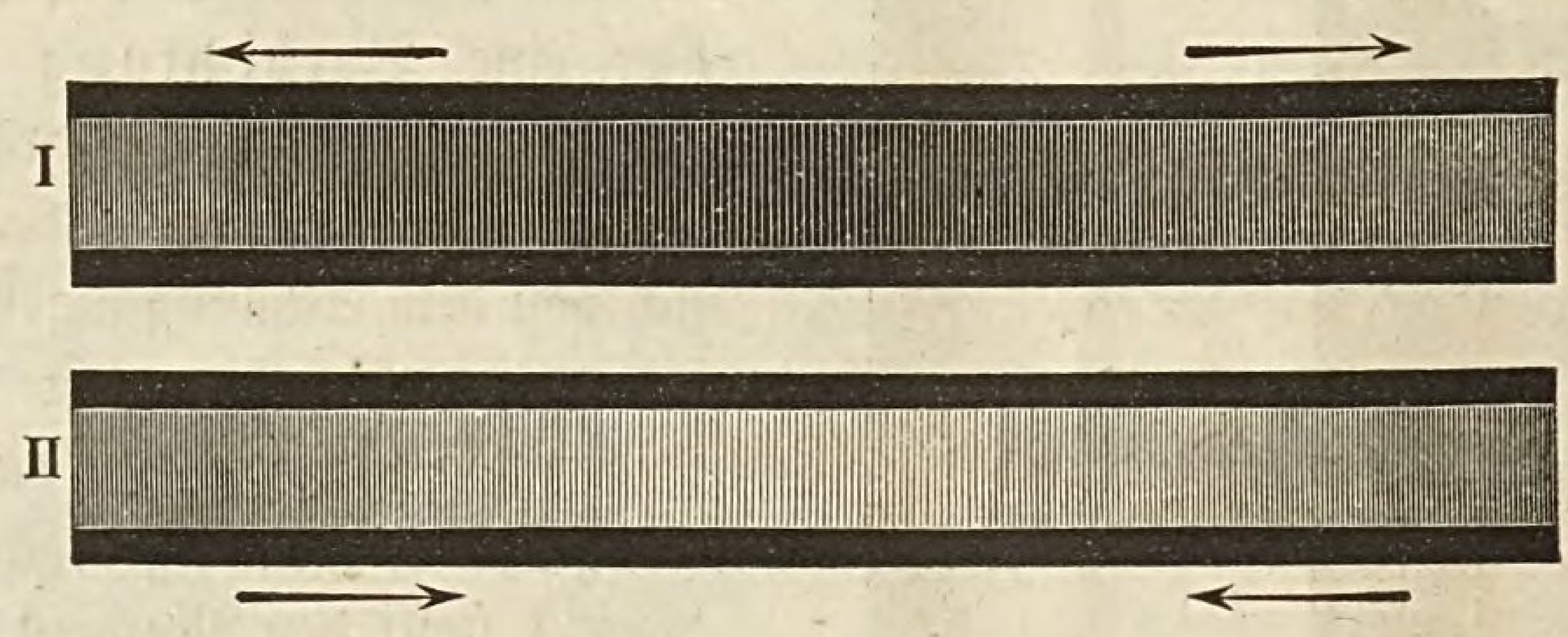
gungsknoten in der Mitte der Röhrenlänge, so daß sich von beiden Seiten her gleichzeitig alle Luftschichten gegen die Mitte der Röhre hin bewegen, um hier eine Verdichtung zu erzeugen und dann, nachdem die größte Verdichtung erfolgt ist, nach beiden Seiten hin sich von dem Schwingungsknoten zu entfernen, bis hier die größte Verdünnung eingetreten ist, wie dies durch Fig. 148 (a. f. S) anschaulich gemacht werden soll. Nro. I stellt den Moment dar, in welchem in der Mitte der Röhre ein Maximum der Verdichtung stattfindet. Von diesem Moment an bewegen sich alle Luftschichten gleichzeitig von der Mitte weg gegen die beiden Röhrenenden hin, wie dies durch die beiden Pfeile in Nro. I angedeutet ist, bis in Folge dieser Bewegung in der Mitte der Röhre eine größte Verdünnung eingetreten ist, worauf dann alle Luftschichten von beiden Seiten her wieder gegen den Schwingungsknoten hingehen.

Die Luftschicht in der Mitte der Röhre bleibt also unbeweglich, in ihrer Nähe aber findet abwechselnd Verdichtung und Verdünnung statt, während an den beiden Enden der Röhre weder Verdünnung noch Verdichtung stattfindet, die Luftschichten aber am lebhaftesten hin- und herschwingen.

Die Schwingungen der Luftsäulen in offenen und gedeckten Pfeifen, wie wir sie jetzt betrachtet haben, beziehen sich nur auf den Fall, daß sie ihren tiefsten Ton, ihren Grundton geben. Bei stärkerem Winde aber entstehen höhere Töne, namentlich dann, wenn die Pfeife eng ist im Verhältniß zu ihrer Länge. Diese höheren Töne entstehen dadurch, daß sich die eingeschlossene Luftsäule durch neu auftretende Schwingungsknoten in mehrere

für sich schwingende Abtheilungen theilt, auf deren nähere Betrachtung hier nicht eingegangen werden kann.

Fig. 148.



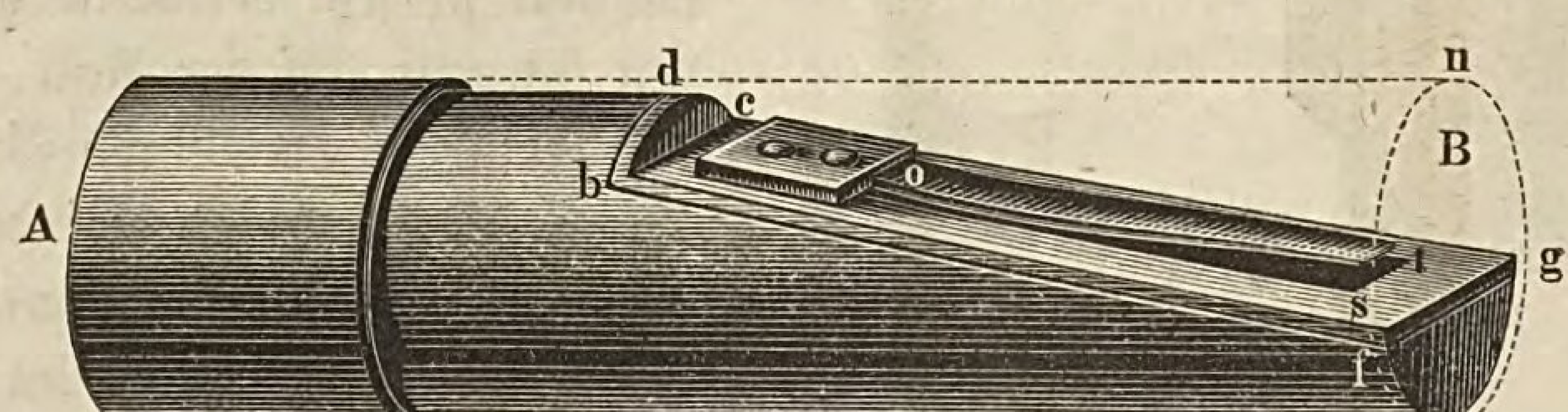
Vergleichen wir die oben betrachteten Schwingungen von Luftsäulen, welche in Röhren eingeschlossen sind, mit den in §. 62 u. 63 besprochenen Schwingungen von Saiten, Stäben, Platten u. s. w., so finden wir einen großen Unterschied in Beziehung auf die Richtung der Schwingungen. Die Schwingungen von Saiten, Stäben u. s. w. sind rechtwinklig zu deren Richtung, es sind Querschwingungen, während die Schichten einer tönenden Luftsäule in der Richtung ihrer Axe vor sich gehen, also Längsschwingungen sind.

Solche Längsschwingungen können auch in Stäben von Holz, Glas, Metall u. s. w. hervorgebracht werden, es ist aber hier nicht der Ort, sie näher zu betrachten.

Bei der Orgel kommt nur der Grundton der Pfeifen in Anwendung, jede Pfeife gibt also nur einen Ton und jedem Ton der Tonleiter entspricht eine andere Pfeife. Anders verhält es sich bei der Flöte, welche ihrem Wesen nach nichts anderes ist, als eine offene Pfeife, in welcher die Länge der tönenden Luftsäule und die Lage der Schwingungsknoten dadurch abgeändert wird, daß die seitlichen Löcher abwechselnd geöffnet oder geschlossen werden.

66 **Die Zungenpfeifen.** Unter den verschiedenen Kinderspielwaaren findet man Trompetchen, welche einen stets gleichen Ton geben, wenn man nicht allzustark hineinbläst. Instrumente ähnlicher Art werden auf Eisenbahnen angewandt, um einen kommenden oder abgehenden Zug zu signalisiren. Die Fig. 149

Fig. 149.



dient nun dazu, die hier tongebende Vorrichtung zu erläutern, welche vielfach zum Bau musikalischer Instrumente verwendet wird. Von einem bei A offenen Mes-

singrohre ist durch einen schrägen Schnitt ein Stück abgeschnitten und auf die Schnittfläche die Messingplatte *bcfg* aufgelöthet; außerdem ist aber das Messingrohr durch die Messingstücke *bdc* und *fhg* auf der rechten Seite vollständig geschlossen, so daß man einen Hohlraum hat, welcher einerseits geschlossen, bei *A* aber offen ist.

Aus der Messingplatte *bfgc* ist oben eine rectanguläre Oeffnung *ost* ausgeschnitten und über derselben ein federnder Metallstreifen, eine sogenannte Zunge, angebracht, welche nur um sehr weniges kürzer und schmaler ist, als die Oeffnung *ost*. In ihrer Ruhelage steht das freie Ende der Zunge ein wenig in die Höhe, etwas niedergedrückt paßt sie aber fast ganz genau in dieselbe hinein, so daß bei dieser Lage die Oeffnung durch die Zunge geschlossen ist.

Wenn man die Zunge auf irgend eine Weise, etwa mittelst des Fingernagels, ein wenig aus ihrer Gleichgewichtslage herausbiegt und dann losläßt, so hört man einen ganz schwachen, klanglosen, sehr bald wieder verschwindenden Ton; in dieser Weise könnten also die Schwingungen des federnden Metallstreifens nicht für musikalische Zwecke verwendet werden. Um mittelst der Zunge kräftige Töne zu erzeugen, wird nun über die rechte Seite des bereits besprochenen Messingsrohres ein zweites Rohr *mn* geschoben, welches in unserer Figur nur durch Punktirung angedeutet ist, so daß nun ein zweiter bei *B* offener Hohlraum gebildet wird, welcher nur durch die Oeffnung *ost* mit dem bei *A* mündenden in Verbindung steht. — Wird nun bei *B* Luft eingeblasen, so wird dadurch die Vibration der Zunge eingeleitet. So oft in Folge dieser Vibration die Oeffnung *ost* theilweise frei wird, dringt ein Luftstrom durch dieselbe und aus der Mündung *A* hervor, um sogleich wieder unterbrochen zu werden, wenn die Oeffnung *ost* durch die vibrirende Spalte wieder geschlossen wird.

Es sind also nicht die Vibrationen der Zunge selbst, welche die Schallwellen erzeugen, vielmehr dienen diese Vibrationen nur dazu, den aus *ost* hervorquellenden Luftstrom zu reguliren und ihn in regelmäßigen Zwischenräumen zu unterbrechen. Soviel Schwingungen die federnde Zunge in der Secunde macht, soviel Verdichtungswellen treten der Reihe nach bei *A* aus dem Rohre hervor.

In der Regel ist an das Rohr bei *A* noch ein kleiner Schallbecher, bei *B* aber ein entsprechendes Mundstück angesetzt.

Ganz in der eben betrachteten Weise werden auch die Töne der Mundharmonika, der Blasbalgharmonika und der Phisharmonika (des Harmoniums) hervorgebracht, nur haben diese Instrumente nicht eine, sondern eine ganze Reihe von Zungen, welche den verschiedenen Tönen der Tonleiter entsprechen.

Bei allen diesen Instrumenten ist es lediglich die Elasticität der Zunge, welche deren Schwingungsgeschwindigkeit, also die Höhe des gebildeten Tones bedingt.

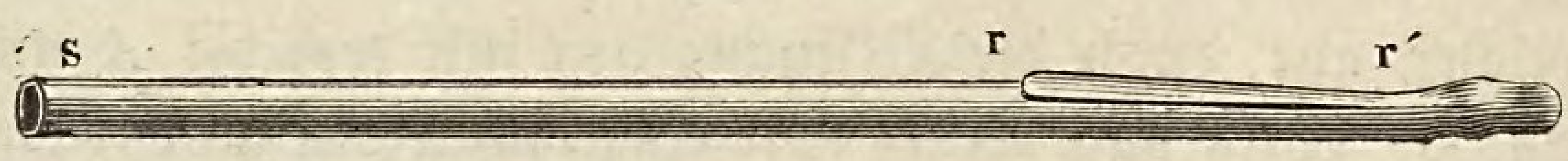
Wenn an den Apparat Fig. 149 bei *A* statt eines kurzen Schallbechers ein längeres cylindrisches Rohr angesetzt wird, so muß die in demselben eingeschlossene Luftsäule auch in Vibrationen gerathen, wenn das Instrument angeblasen wird.

Ist nun der Eigenton der Röhre unisono mit dem Ton der Zunge, so dient die angesetzte Röhre nur dazu, den Ton kräftiger und voller zu machen, wenn dies jedoch nicht der Fall ist, so werden die Schwingungen der Luftsäule durch die Zunge und umgekehrt die Schwingungen der Zunge durch die Luftsäule beeinflußt, oder mit anderen Worten, durch den Einfluß der Luftsäule im angesetzten Rohre können die Schwingungen der Zunge unter Umständen etwas beschleunigt oder verzögert, der Ton also etwas erhöht oder vertieft werden.

Ganz anders als die oben besprochenen verhalten sich dagegen Zungen, welche nicht aus Metall, sondern aus einer weniger starren, leichter beweglichen Substanz, etwa aus Holz- oder Rohrblättchen gebildet sind, indem sich dieselben vollständig den Schwingungen der mit ihnen verbundenen Pfeife anpassen, so daß der erzeugte Ton lediglich durch die Dimensionen der Luftsäule bedingt ist und die Zunge lediglich dazu dient, die Vibrationen dieser Luftsäule anzuregen.

Das einfachste Beispiel einer Zunge, welche von ihrer Luftsäule beeinflußt wird, giebt wohl ein Weizenstrohhalm. Ungefähr einen Zoll von einem Knoten entfernt mache man mit einem scharfen Federmesser bei r, Fig. 150, einen Einschnitt in den Halm, welcher ungefähr ein Viertel so tief ist als der Durchmesser des Halmes; dann lege man die Klinge flach und fahre damit gegen den

Fig. 150.



Knoten hin, wodurch man einen Strohstreifen ablöst, der etwa einen Zoll lang ist. Dieser Streifen rr' bildet nun eine mit der Pfeife sr verbundene Zunge. Der Ton dieser Pfeife hängt von der Länge des Rohres sr ab und zwar wird er um so höher, je kürzer man das Rohr macht. Um die Vorrichtung, Fig. 150 zum Tönen zu bringen, wird die Zunge rr' ihrer ganzen Länge nach in den Mund gesteckt und die Lippen vollständig geschlossen.

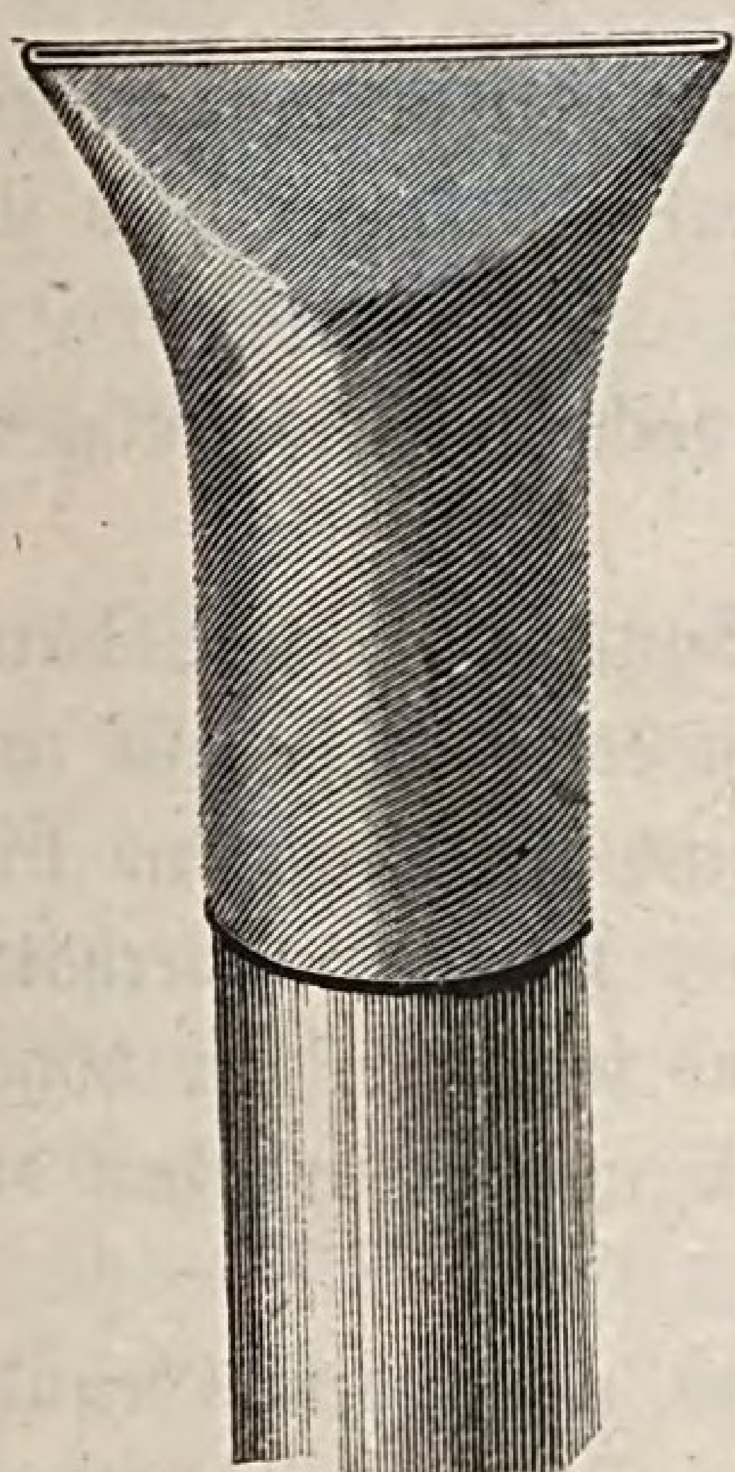
Zu den musikalischen Instrumenten, bei welchen sich die aus weichen Holz- oder Rohrblättchen gebildete Zunge mit ihrer Schwingungsgeschwindigkeit nach derjenigen der tönenden Luftsäule richtet, bei welcher die Zunge also nicht eigentlich schwingt, sondern geschwungen wird, gehört die Clarinette, das Fagot &c.

Bei der Trompete, dem Horn u. s. w. treten die Lippen an die Stelle der Zungen. Das gewundene Rohr dieser Instrumente ist so lang im Verhältniß zu seiner Weite, daß der Grundton desselben gar nicht entstehen kann, daß sich vielmehr die eingeschlossene Luftsäule in mehr oder weniger, für sich schwingender Parthien theilt, so daß verschiedene Obertöne des Grundtones entstehen, je nachdem der erregende, durch die zitternden Lippen hervorquellende Luftstrom stärker oder schwächer ist.

67 **Das menschliche Stimmorgan.** Von einer Röhre dünnen vulcanisirten Kautschuks, welche 2 bis 3 Centimeter weit ist, schneide man ein 5 bis 7 Centimeter langes Stück ab und befestige es am Ende eines Glasrohres von entsprechender Weite, wie man Fig. 151 sieht. Wenn man nun die Kautschuk-

röhre an ihrem oberen Ende an zwei gegenüberliegenden Punkten faßt und auseinander zieht, so bildet sich eine Ritze, wie es unsere Figur zeigt, deren Ränder von Kautschuk sind. Bläst man nun unten in das Glasrohr hinein, so erhält man einen Ton, der um so höher wird, je stärker die beiden Lippen angespannt werden. Man kann dabei deutlich die Vibrationen der beiden Kautschuklippen sehen, welche die Ritze bilden.

Fig. 151.



Ganz in derselben Weise kommt der Ton des menschlichen Stimmorganes im Kehlkopf, dem oberen Ende der Luftröhre, zu Stande. Die Luftröhre wird nach oben hin immer enger und endet endlich in einer Spalte, der Stimmritze, welche durch zwei sehnigte Bänder, die Stimmbänder, gebildet wird. Die Stimmbänder sind vorn und hinten am Knorpel des Kehlkopfes angewachsen und können durch verschiedene Muskeln mehr oder weniger gespannt werden. Man kann also das menschliche Stimmorgan als eine durch zwei sehnigte Bänder gebildete Zungenpfeife betrachten.

Den eigentlich klangvollen Theil der menschlichen Sprache bilden die Vocale, welche durch den mitklingenden Eigenton der für jeden anderen Vocal anders gestalteten Mundhöhle ihren Charakter erhalten. Die Consonanten sind Geräusche, welche, durch Lippen, Zunge und Zähne erzeugt, die Vocaltöne bei ihrem Beginn und Aufhören begleiten.

Die Geräusche, durch welche die Consonanten hervorgebracht werden, sind weit weniger intensiv als die Vocalklänge selbst, sie verschwinden deshalb in einiger Entfernung bereits vollständig, wenn man die Vocalklänge noch deutlich unterscheidbar hört. Es geht daraus hervor, daß man, um für etwas schwerhörige Personen verständlich zu reden, keineswegs lauter zu sprechen nöthig hat, sondern daß es genügt, die Consonanten schärfer hervorzuheben. Ueberhaupt wird die Verständlichkeit der Sprache nicht durch lautes Schreien, sondern durch sorgfältige Articulirung bedingt.

Klangfarbe. Der Charakter eines Tones ist bei gleicher Tonhöhe noch 68
abhängig von dem Instrumente, von welchem er herstammt. Leicht unterscheidet man z. B. das a_1, welches auf dem Klaviere angeschlagen wird, von dem gleichen Ton der Flöte oder der Trompete. Die Eigenthümlichkeit des Toncharakters, die Klangfarbe der verschiedenen Instrumente, ist nun dadurch bedingt, daß die wenigsten einfache Töne geben, sondern daß mit dem Grundton meist noch eine Reihe von Obertönen mitklingt. Der Toncharakter eines Instrumentes hängt davon ab, welche Obertöne und in welcher Stärke sie den Grundton begleiten.

Einfache Töne, also Klänge ohne Obertöne, werden am einfachsten hervorgebracht, wenn man eine angeschlagene Stimmgabel über eine Resonanz-

röhre von entsprechender Länge hält. Diese Töne sind ungemein weich und frei von allem Scharfen und Rauhen.

Die Klänge der **Flöte** stehen den einfachen Tönen sehr nahe, indem sie nur wenige schwache Obertöne haben.

Weite gedeckte Pfeifen geben den Grundton fast ganz rein, engere lassen neben dem Grundton noch die Duodecime (Quint der Octav) hören, weshalb sie auch Quintaten genannt werden.

Weite offene Orgelpfeifen lassen neben dem Grundton noch die Octav, engere lassen noch eine weitere Reihe von Obertönen hören.

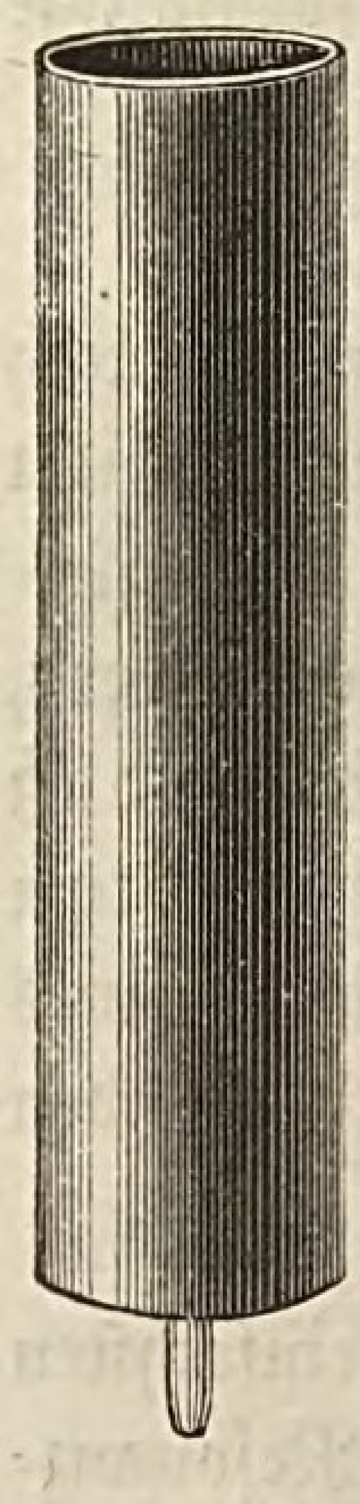
Die Obertöne, welche in der Klangmasse gespannter Saiten auftreten, hängen von der Substanz ab, aus welcher sie gemacht sind, von der Art, wie sie ins Tönen gebracht werden u. s. w. Bei guten **Clavieren** sind die Obertöne bis zum sechsten sehr stark. Bei **Streichinstrumenten** ist der Grundton verhältnißmäßig kräftiger als bei Clavieren, die ersten Obertöne sind schwächer, die höheren vom sechsten bis zum zehnten dagegen viel deutlicher und verursachen die Schärfe des Klanges der Streichinstrumente.

Geschlagene **Metallstäbe** und **Metallplatten** lassen neben dem Grundton eine **Reihe sehr hoher unter sich unharmonischer** Obertöne anhaltend und in gleichmäßigem Flusse mitklingen und dadurch ist die Eigenthümlichkeit bedingt, welche man als **metallische Klangfarbe**, als **Metallklang** bezeichnet.

Durch das Hinzutreten der niederen, harmonischen Obertöne wird der Ton klangvoller, reicher, prächtiger als der Ton einfacher Klänge, durch das Hinzutreten hoher Obertöne aber wird der Klang besonders durchdringend.

Ein musikalisch geübtes Ohr kann aus der Klangmasse eines Tones die Obertöne wohl unterscheiden, welche den Grundton begleiten; um sie aber auch dem ungeübten Ohre hörbar zu machen, wendet man die sogenannten **Resonatoren**, **Mitklinger** an, welche am einfachsten in der Weise construirt werden, wie Fig. 152 zeigt. Es sind unten geschlossene cylindrische Pappröhren, in deren Boden ein Glasröhrchen eingesetzt ist, welches in den Gehörgang des einen Ohres eingesteckt wird, während man das andere zuhält. Das Glasröhrchen kann aber auch ganz wegbleiben, so daß man nur den Boden des Rohres mit der centralen kleinen Oeffnung auf die Ohrmuschel aufdrückt. Die Länge dieser Röhren ist ungefähr 5mal so groß als ihr Durchmesser.

Fig. 152.



Wenn nun die Wellen irgend eines Tones durch das Rohr zum Ohr gelangen, so hört man im Allgemeinen diesen Ton ebenso, als ob das Rohr nicht vor das Ohr gehalten wäre; nur im Falle, daß der Eigenton der im Rohr eingeschlossenen Luftsäule dem Tone gleich ist, dessen Wellen durch das Rohr einfallen, hört man diesen Ton mächtig verstärkt. Hält man also vor das Ohr ein derartiges 20 Centimeter langes Papprohr, so tritt diese Verstärkung ein, wenn der Ton a_1 durch das Rohr einfällt.

Schlägt man z. B. auf dem Clavier die Taste c_0 an, so hört man keinerlei Verstärkung des Tones, wenn man die Resonatoren

für g_0 ($42^2/_9$ Centimeter lang) oder e_1 ($26^2/_3$ Centimeter lang) vor das Ohr hält, während man die Töne c_1, oder g_1, c_2, e_2 kräftig vorklingen hört, wenn man die Resonatoren von $33^1/_3$, oder $21^1/_9$, $16^2/_3$, $13^1/_3$ Centimeter Länge (Seite 129) vor das Ohr hält. Die Töne c_1, g_1, c_2, e_2 ꝛc. sind also in der Klangmasse enthalten, welche beim Anschlagen der Taste c_0 erklingt.

Durch Anwendung der Resonatoren c_1, g_1, c_2, e_2 u. s. w. wird man die Verstärkung der entsprechenden Töne nicht wahrnehmen, wenn der Ton c_0 durch eine Flöte erzeugt wird.

Geschwindigkeit des Schalles. Wenn man aus einer Entfernung von ungefähr 250 Fuß einem Steinklopfer zusieht, so wird man den Eindruck wahrnehmen, als ob nicht beim Aufschlagen des Hammers auf den Stein, sondern beim Abreißen von demselben ein Ton entstände. — Wenn man aus einer Entfernung von 1000 bis 1500 Fuß die Locomotive eines Eisenbahnzuges beobachtet, welche die Signalpfeife ertönen läßt, so sieht man den von der Pfeife aufsteigenden Dampf früher, als man das Pfeifen hört, und nachher ist der Dampf der Pfeife bereits verschwunden, während man den Ton der Pfeife noch eine Zeit lang forthört. 69

Den Blitz eines in einiger Entfernung abgeschossenen Gewehres nimmt man früher wahr, als den Knall; man sieht den Blitz eher, als man den Donner hört, und das Rollen des Donners rührt daher, daß es längere Zeit dauert, ehe der Ton von entfernteren Stellen des Blitzes ans Ohr schlägt, obschon auf der ganzen langen Strecke, welche der Blitz durchfurcht, der Knall gleichzeitig erfolgt.

Alle diese Erscheinungen rühren daher, daß der Schall sich ungleich langsamer fortpflanzt, als das Licht.

Durch Mittel, auf welche hier nicht weiter eingegangen werden kann, hat man ermittelt, daß das Licht in einer Secunde einen Weg von 42 000 deutschen Meilen zurücklegt, daß es sich also auf irdische Entfernungen in unmeßbar kleinen Zeiträumen fortpflanzt; wir sehen also den Blitz einer entfernten Kanone in dem gleichen Moment, in dem er entsteht. Um die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles zu ermitteln, haben wir also nur die Zeit zu beobachten, welche vergeht zwischen der Wahrnehmung eines in der Entfernung erzeugten Blitzes und des gleichzeitig erzeugten Knalles. In der Regel verwendet man zu diesem Zwecke in der Nacht abgefeuerte Schüsse in großer Entfernung aufgestellter Kanonen. Als z. B. bei derartigen Versuchen der Beobachter 3104 Meter (über $2^1/_2$ deutsche Meilen) von der Kanone aufgestellt war, vergingen $54^1/_2$ Secunden zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Knalles, und daraus folgt, daß sich der Schall in der Luft um 341 Meter oder nahezu 1100 Fuß in der Secunde fortpflanzt.

Wir haben bisher nur die Fortpflanzung des Schalles in der Luft betrachtet, er pflanzt sich aber in ähnlicher Weise auch in festen Körpern und Flüssigkeiten fort, ja in diesen Mitteln pflanzen sich die Schallwellen leichter und mit weit größerer Geschwindigkeit fort, als in Luft. Wenn man das Ohr auf die Schienen einer Eisenbahn legt, so hört man das Rasseln eines herannahenden Zuges auf weit größere Entfernung, als man es durch die Luft hindurch hören kann.

Je verdünnter die Luft, desto schwächer pflanzt sich in ihr der Schall fort; auf hohen Bergen ist der Knall einer abgeschossenen Pistole weit weniger laut, als in der Tiefe, der leere Raum aber pflanzt den Schall gar nicht fort. Auf dem Monde dürften also die furchtbarsten Explosionen stattfinden, ohne daß man auf der Erde auch nur das leiseste Geräusch davon wahrnehmen könnte.

70 **Zurückwerfung des Schalles.** Obgleich die einem festen oder flüssigen Körper mitgetheilten Schallschwingungen sich leicht in demselben verbreiten, so gehen doch die Schallwellen nicht leicht aus Luft in einen festen oder flüssigen Körper über; die Luft ist viel zu wenig dicht, als daß die Schwingungsbewegung ihrer Theilchen eine namhafte Erschütterung in benachbarten festen oder flüssigen Körpern hervorbringen könnte. Wenn daher Luftwellen auf die Oberfläche eines festen oder flüssigen Körpers treffen, so gehen sie nur zum kleinsten Theile in denselben über, während sie größtentheils von der trennenden Oberfläche wieder in die Luft zurückgeworfen werden.

Diese Reflexion (Zurückwerfung) geschieht nun in der Weise, daß der zurückgeworfene Strahl einen eben so großen Winkel mit der zurückwerfenden Ebene macht, wie der einfallende. In Fig. 153 sei z. B. *SR* ein Schallstrahl, welcher von der Schallquelle *S* ausgehend in *R* eine feste Wand trifft, mit welcher er einen Winkel *a* macht, so wird dieser Schallstrahl nach der Richtung *RO* so reflectirt, daß der Winkel *b* gleich dem Winkel *a* ist. Befindet sich nun in *O* ein

Fig. 153.

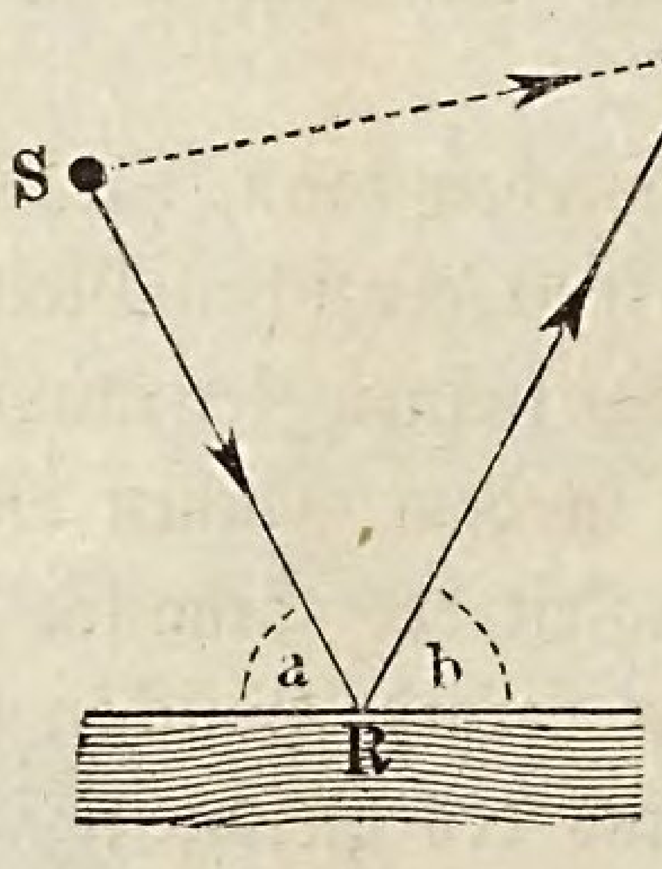


Fig. 154.

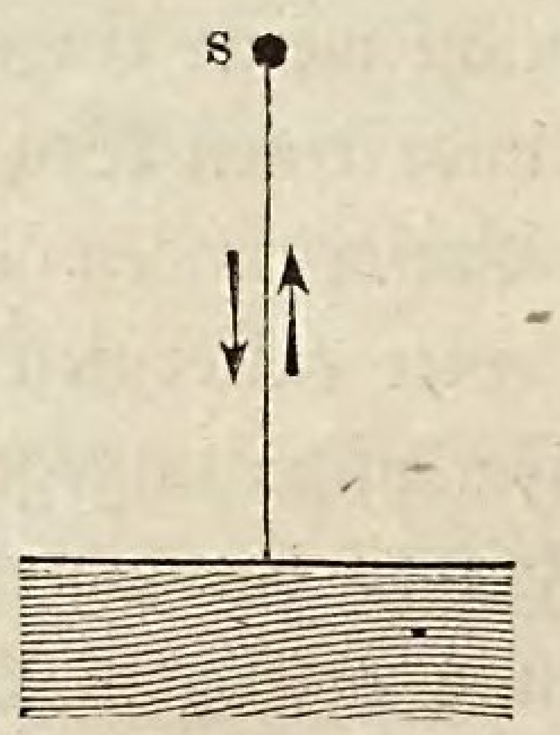
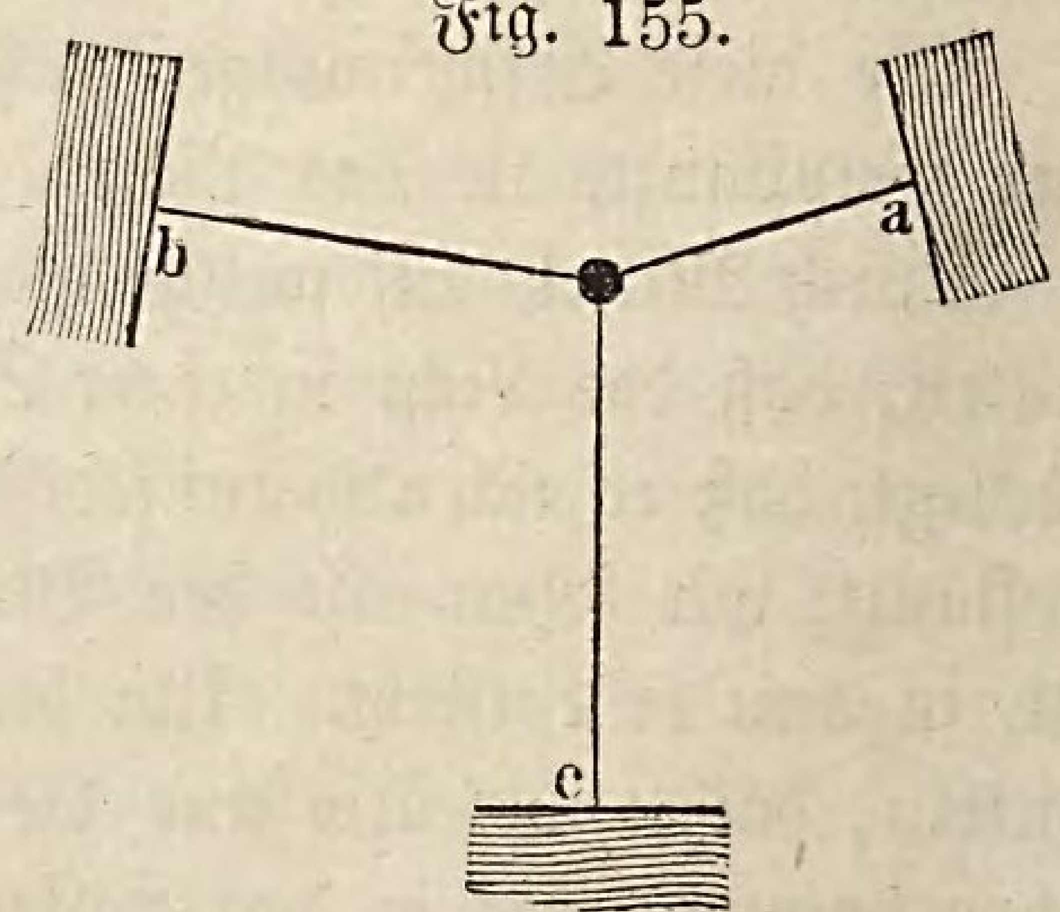


Fig. 155.



Ohr, so vernimmt es den zurückgeworfenen Schall eben so, als ob er von einer in der Richtung *OR* liegenden Schallquelle herkäme.

Solche Töne nun, welche dem Ohre nicht direct, sondern in Folge einer Zurückwerfung der Schallwellen zukommen, nennt man ein Echo. Wenn der Weg *SRO* um 1100, 2200 u. s. w. Fuß größer ist, als der directe Weg *SO*, so hört das Ohr zuerst den Ton direct und dann sein Echo um 1, 2 Secunden später.

Wenn ein Schallstrahl rechtwinklig auf eine Wand trifft, so wird er in derselben Richtung zurückgeworfen, in welcher er kam, wie durch Fig. 154 anschaulich gemacht werden soll. Der von der Schallquelle *s* ausgehende Ton kehrt dann nach einiger Zeit nach *s* zurück. Wenn nun der von einer Schallquelle ausgehende Ton in dieser Weise von mehreren Wänden, die sich in

verschiedenen Entfernungen von derselben befinden, zurückgeworfen wird, so wird man an der Schallquelle ein mehrfaches Echo wahrnehmen, indem hier zuerst die bei *a*, Fig. 155, dann die bei *b* und zuletzt die bei *c* reflectirten Schallwellen ankommen.

Wenn sich der Schall von irgend einem Punkte aus frei nach allen Seiten hin verbreiten kann, so nimmt seine Stärke sehr rasch ab, wenn man sich mehr und mehr von der Schallquelle entfernt, weil sich in doppelter, dreifacher, vierfacher u. s. w. Entfernung von der Quelle die Schallwellen über eine 4mal, 9mal, 16mal größere Oberfläche ausbreiten müssen. Um also den Schall nach einer bestimmten Richtung hin auf größere Entfernung hörbar zu machen, braucht man nur die kugelförmige Ausbreitung der Schallwellen zu verhindern. Theilweise geschieht dies schon, wenn man die Hände trichterartig vor den rufenden Mund hält. Sehr weit verbreitet sich deshalb auch der Schall in offenen Röhrenleitungen, weil die von der Schallquelle aus auseinanderfahrenden Schallstrahlen an den Röhrenwänden so zurückgeworfen werden, daß sie sich endlich nahezu in gleicher Richtung fortpflanzen. Darauf gründet sich die Anwendung von Guttaperchaföhren, Fig. 156, die an beiden Enden mit einem Mundstück

Fig. 156.



Fig. 157.

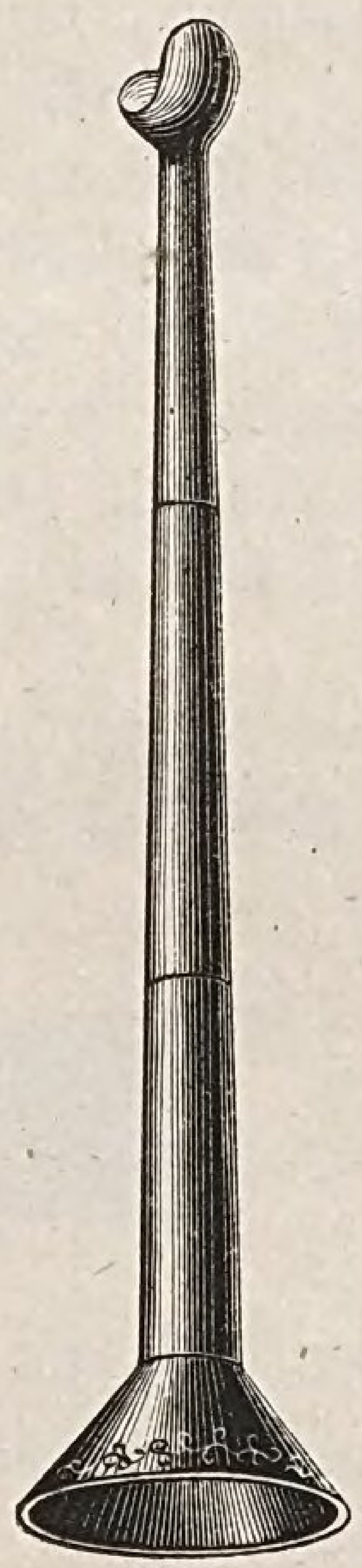
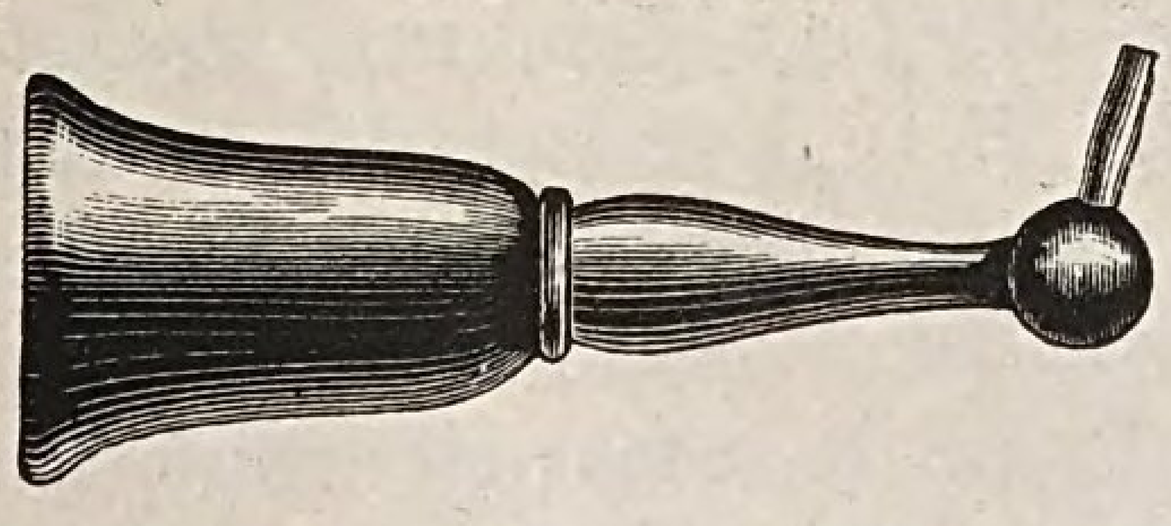


Fig. 158.



versehen sind, um zwischen entfernter von einander gelegenen Zimmerräumen mündlich verkehren zu können. Darauf gründet sich auch die Wirkung

des Sprachrohres, Fig. 157, welches namentlich auf Schiffen angewendet wird, um auf etwas größere Entfernung hin Befehle nach einer bestimmten Richtung hin zu geben.

Während das Sprachrohr dazu dient, die Schallstrahlen zusammen zu halten, also ihr Auseinanderfahren zu hindern, dient umgekehrt das Hörrohr dazu, sie zu sammeln. Die in einen weiteren Becher eintretenden Schallstrahlen werden durch ein immer enger werdendes Rohr auf dem Trommelfell concentrirt. Fig. 158 stellt ein aus Horngummi sehr zweckmäßig construirtes Hörrohr dar, wie solche von Schwerhörigen mit Erfolg gebraucht werden.

Viertes Buch.

Die Optik oder die Lehre von den Lichterscheinungen.

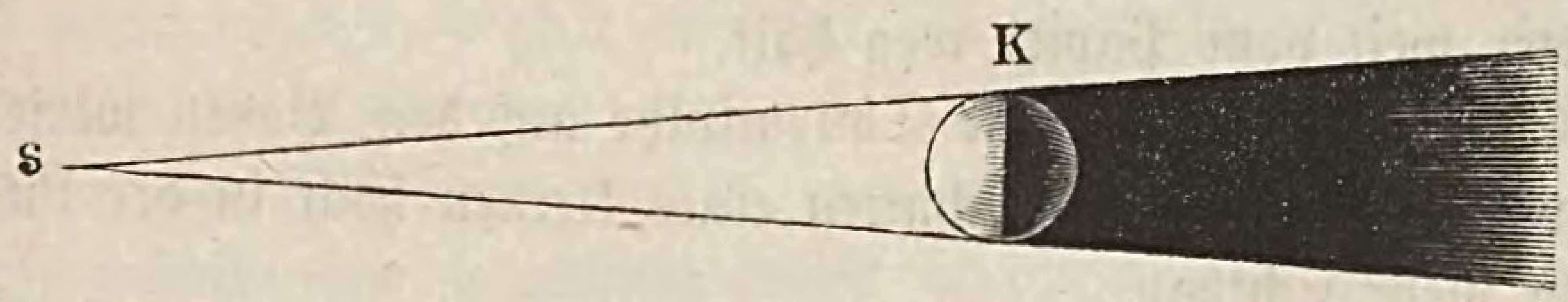
Lichtstrahlen und Schatten. Wenn man eine brennende Kerze in ein dunkles Zimmer stellt, so sendet sie Lichtstrahlen nach allen Seiten hin und zwar in geradliniger Richtung aus, und wenn solche Lichtstrahlen in das Auge fallen, so bringen sie in demselben einen Eindruck hervor, vermöge dessen wir die Lichtquelle, in unserem Falle also die Kerzenflamme, sehen. 71

Was hier von der Kerzenflamme gesagt ist, gilt von jedem selbst leuchtenden Körper, von der glühenden Kohle, von der Sonne, von den Fixsternen u. s. w.

Wenn die von irgend einem leuchtenden Punkte ausgehenden Lichtstrahlen auf einen undurchsichtigen Körper treffen, so werden sie in ihrem Fortgange aufgehalten; von der Lichtquelle aus dringt direct kein Lichtstrahl in den hinter dem dunklen Körper liegenden Raum und so entsteht der Schatten, wie Fig. 159 zeigt.

Wenn der leuchtende Körper nicht klein genug ist, um ihn als leuchtenden Punkt betrachten zu können, wenn er vielmehr eine namhafte Oberfläche hat, so

Fig. 159.

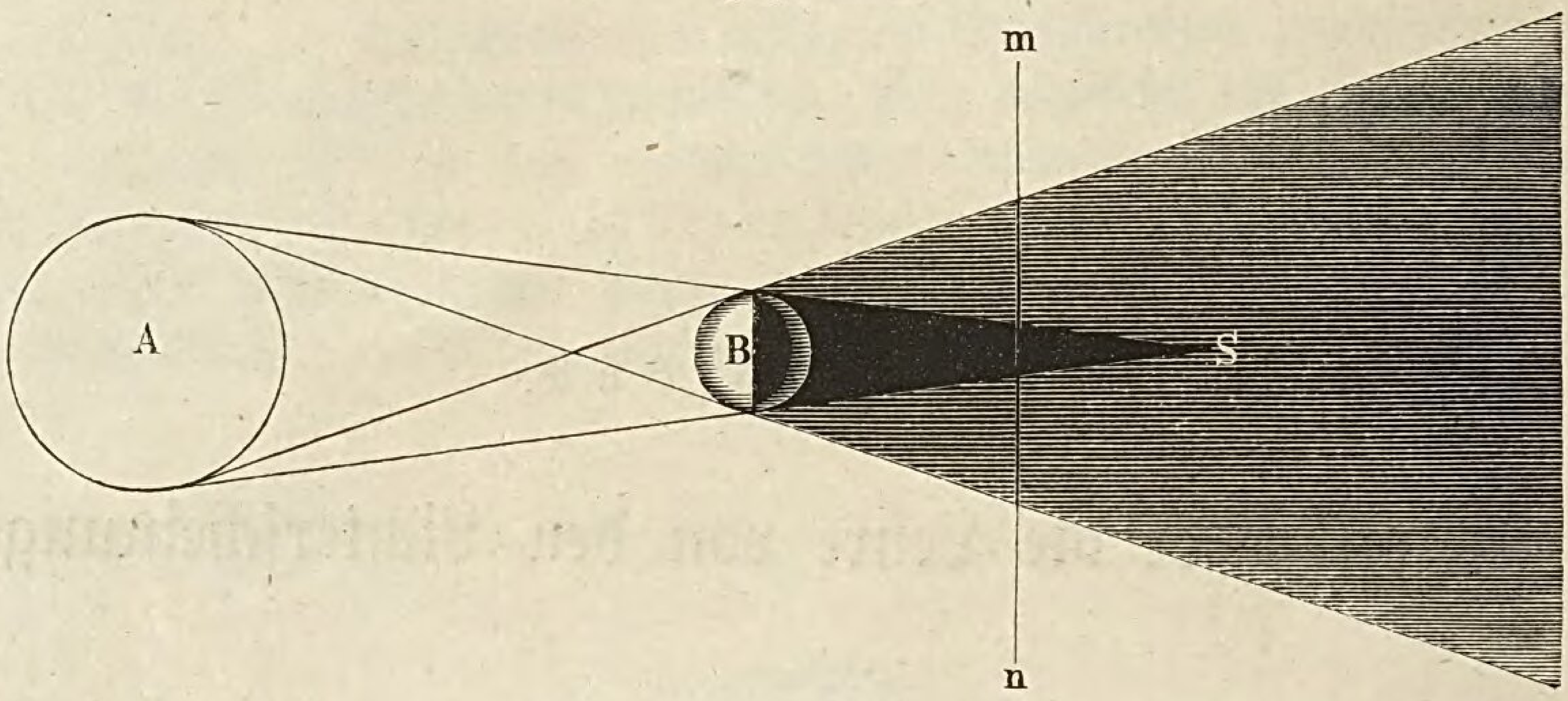


entsteht außer dem Kernschatten, in welchen gar kein Licht vom leuchtenden Körper dringen kann, auch ein Halbschatten, welcher Licht von einem Theile des leuchtenden Körpers erhält. Ist der Durchmesser des leuchtenden Körpers *A*, Fig. 160 (a. f. S.), größer als der des Schatten gebenden *B*, so endet der Kernschatten in einem Punkte *S*, welcher um so weiter von *B* wegrückt, je weiter unter sonst gleichen Umständen *A* von *B* entfernt wird.

Während aber der Durchmesser des Kernschattens mit dem Abstand von *B* abnimmt, nimmt der Durchmesser des Halbschattens um so mehr zu, je weiter man sich von *B* entfernt.

Wenn der leuchtende Körper *A* weiter und weiter von *B* weggerückt wird, so wird der Halbschatten schmäler.

Fig. 160.



Wird der Schatten des Körpers *B* durch irgend einen Schirm *mn* aufgefangen, so sieht man, wie der dunkle Kernschatten von einem nach außen immer verwaschener werdenden Halbschatten umgeben ist, Fig. 161.

Je weiter der Schirm *mn* von *B* entfernt wird, desto mehr nimmt der Durchmesser des Kernschattens ab, desto mehr nimmt der des Halbschattens zu.

Fig. 161.



Ueber *S* hinaus verschwindet der Kernschatten ganz und es bleibt nur ein mit dem Abstand von *B* immer an Breite zunehmender Halbschatten.

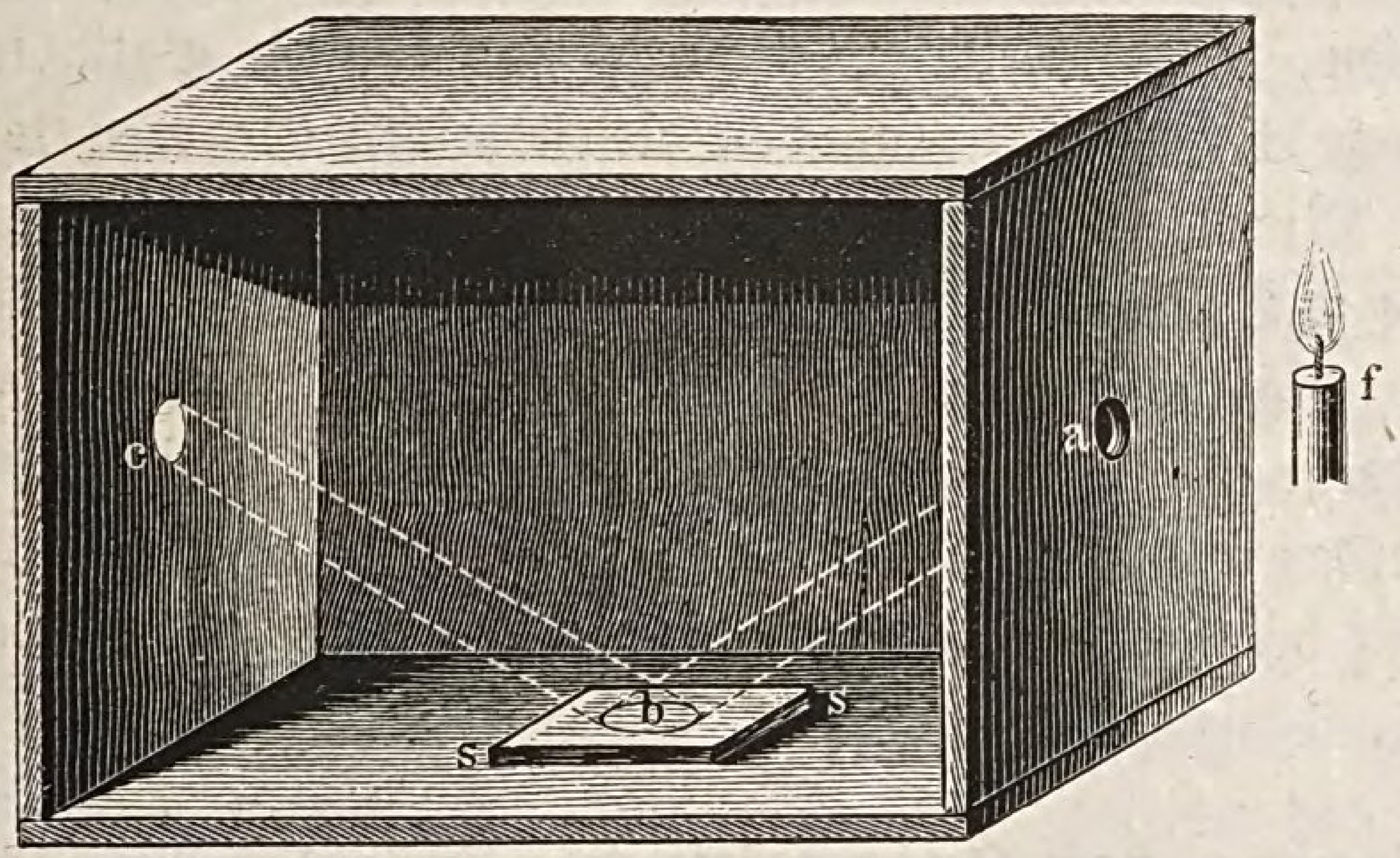
Der Schatten, welchen undurchsichtige Gegenstände im Sonnenlicht zeigen, mag das Bisherige erläutern. Hält man ganz nahe hinter einen von der Sonne beschienenen Draht ein Stück weißes Papier, so erhält man einen ziemlich scharfen Schatten, weil der Kernschatten des Drahtes nur von einem ganz schmalen Halbschatten gesäumt ist. Entfernt man den Draht vom Papier, so wird der Schatten breiter und verschwommen. Mit der Breite des Schattens nimmt auch seine Dunkelheit ab, so daß er ganz verschwindet, wenn man den Draht 6 bis 10 Decimeter weit vom Papier weg hält.

Der Schatten, welchen eine Thurmspitze auf den Boden wirft, ist jedenfalls sehr verschwommen, und der Schatten eines kleinen hoch in der Luft schwebenden Vogels nicht mehr sichtbar.

72 **Spiegelung und Zerstreuung der Lichtstrahlen.** In die eine Wand eines Kastens von Holz oder Pappendeckel, welcher nur an der dem Beobachter zugekehrten Seite offen ist, wie Fig. 162 erläutert, sei eine Oeffnung *a* von 2 bis 3 Centimeter Durchmesser angebracht. Eine Kerzenflamme *f*, die man in einiger Entfernung und etwas höher als *a* angebracht hat, sendet ihre Strahlen durch die Oeffnung *a* in das Innere des Kastens, während fremdes Licht möglichst abgehalten ist. Da wo das durch die Oeffnung *a* eindringende Bündel Lichtstrahlen den Boden des Kastens trifft, liegt ein Stück *ss* eines guten Spiegels. Die Stelle *b*, in welcher das durch *a* einfallende Strahlenbündel den

Spiegel trifft, wird man kaum wahrzunehmen im Stande sein, weil alle von *a* kommenden und auf den Spiegel fallenden Lichtstrahlen nach einer bestimmten

Fig. 162.



Richtung zurückgeworfen (gespiegelt oder reflectirt) werden. Die von *ss* gespiegelten Strahlen treffen aber die der Oeffnung *a* gegenüberstehende Wand des Kastens und erzeugen hier einen hellen Fleck *c*, gerade so als ob ein Bündel Lichtstrahlen durch eine bei *b* angebrachte Oeffnung in der Richtung *bc* eingedrungen wäre.

Während sonst alles ungeändert bleibt, streue man etwas Hexenmehl (semen lycopodii) auf den Spiegel *ss*, so wird nun die Stelle des Spiegels, welche von den durch *a* eindringenden Strahlen getroffen wird, als ein heller Fleck von allen Seiten her sichtbar sein, während der Fleck *c* weniger hell ist als vorher. Von den durch die Oeffnung *a* auf den Spiegel *ss* auffallenden Strahlen wird jetzt nur noch ein Theil regelmäßig nach *c* gespiegelt, die übrigen aber werden von *b* aus nach allen Seiten hin zerstreut, und diese zerstreuten Strahlen sind es, welche den Fleck von allen Seiten her sichtbar machen. Bestreut man den Spiegel *ss* dichter und dichter mit Hexenmehl, so erscheint *b* immer heller, während *c* immer lichtschwächer wird, bis endlich *c* ganz verschwindet. Dies geschieht z. B. auch, wenn man den Spiegel *ss* mit einem Blatt weißen Papieres bedeckt; *c* ist nun gänzlich verschwunden, *b* aber erscheint als ein heller weißer Fleck.

In einem dunkeln Zimmer sehen wir nichts, weil weder die Wände, noch die Decke, noch der Fußboden u. s. w. von selbst Licht aussenden. Alles aber wird sichtbar, sobald eine brennende Kerze hereingebracht wird, weil nun jede Stelle der Wand, der Decke, des Bodens u. s. w. die von der Kerzenflamme aus sie treffenden Lichtstrahlen nach allen Seiten hin gleichförmig zerstreut.

Dieses zerstreute Licht ist es, welches uns fast alle Gegenstände unserer Umgebung sichtbar macht. Wir sehen Häuser, Bäume, Berge, Felder, Wiesen, Wolken u. s. w., weil alle diese Gegenstände die sie treffenden, ursprünglich von der Sonne herrührenden Lichtstrahlen wenigstens theilweise nach allen Richtungen zerstreuen. An einem wolkenfreien Tage erscheint uns das ganze Himmelsgewölbe mit einem leuchtenden hellblauen Lichte überzogen, weil auch die zartesten Lufttheilchen das sie treffende Sonnenlicht, und zwar vorzugsweise das blaue, nach allen Seiten hin gleichförmig zerstreuen. Dieses allseitig zerstreute Licht ist es,

welches die allgemeine Tageshelle bedingt. Selbst im Sonnenschatten ist es nicht ganz dunkel, es herrscht hier immer noch eine gewisse Helligkeit, weil in denselben von allen Seiten her zerstreutes Licht eindringt. Rauhe und matte Oberflächen, wie eine getünchte Wand, ein Blatt Schreibpapier u. s. w., zerstreuen die sie treffenden Lichtstrahlen, während dieselben durch vollkommen glatte und polirte Oberflächen gespiegelt werden. Zwischen diesen beiden Gränzen liegen solche Oberflächen in der Mitte, welche das auffallende Licht zum Theil spiegeln, zum Theil zerstreuen, wie z. B. die Oberflächen polirter Möbel, porzellanener Gefäße rc.

An der spiegelnden Oberfläche durchsichtiger Körper, wie Glas, Wasser u. s. w., geht gleichfalls eine Theilung der auffallenden Strahlen vor sich; zum Theil werden dieselben an der Oberfläche des durchsichtigen Körpers gespiegelt, zum Theil dringen sie in denselben ein. Es wird davon später ausführlicher die Rede sein.

73 **Das Gesetz der Spiegelung.** Wenn ein Lichtstrahl fn auf einen ebenen Spiegel, Fig. 163, trifft, so wird er, gleich den Schallstrahlen, nach einer bestimmten Richtung nd reflectirt, welche durch folgende Gesetze bestimmt ist:

In dem Punkte n, in welchem der einfallende Strahl den Spiegel trifft, denke man sich ein Perpendikel np errichtet, welches den Namen des Einfallslothes führt. Der gespiegelte Strahl nd bleibt nun in der durch den einfallenden Strahl und das Einfallsloth gelegten Ebene, welche die Spiegelebene

Fig. 163.

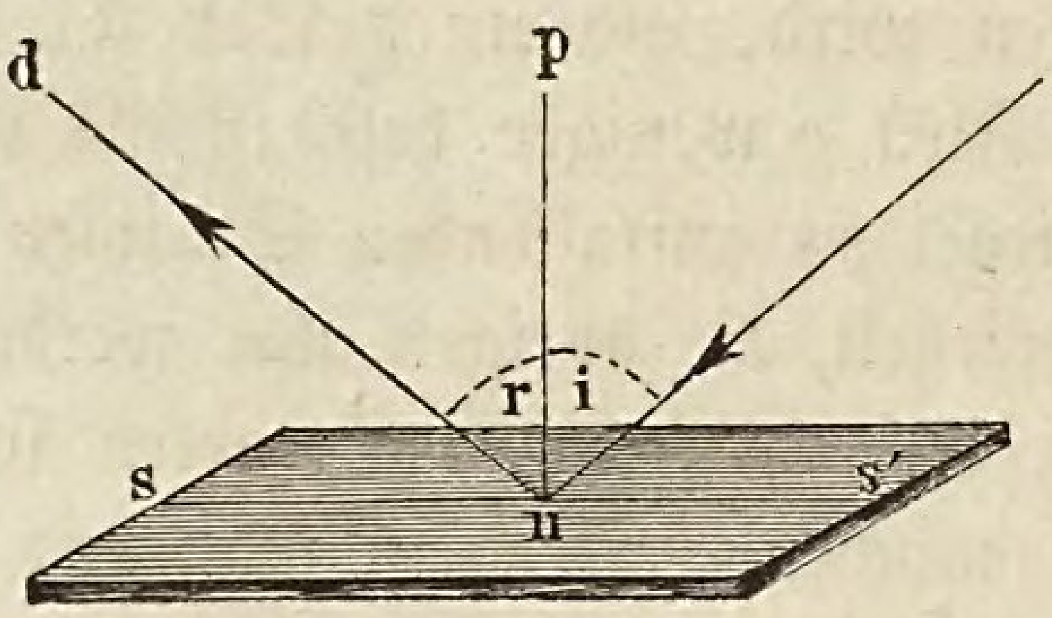
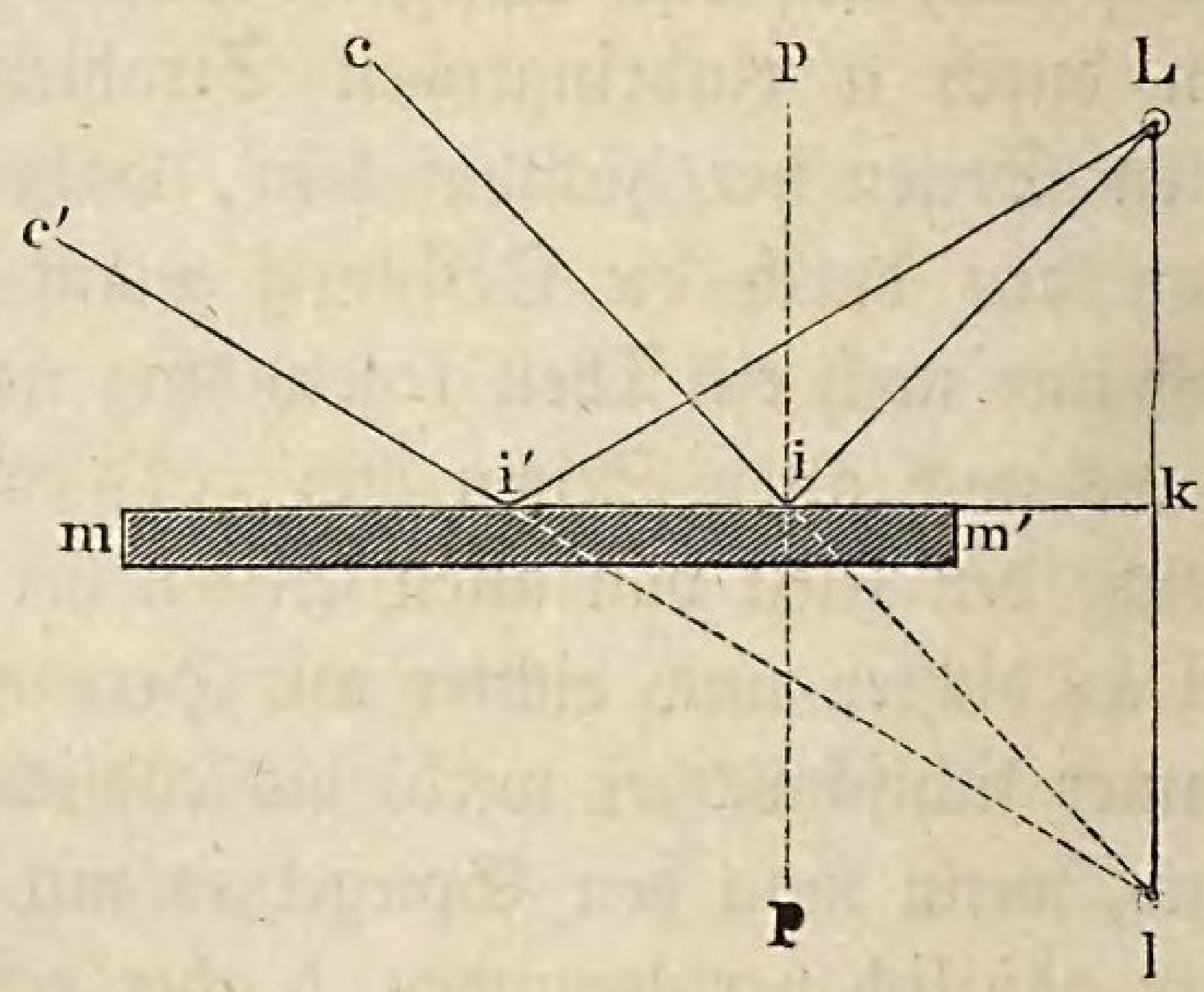


Fig. 164.



in der Linie ss' schneidet und zwar ist der Winkel r (Reflexionswinkel), welchen der gespiegelte Strahl mit dem Einfallslothe macht, gleich dem Winkel i, welchen der einfallende Strahl und das Einfallsloth mit einander bilden. Daraus folgt aber auch ferner, daß der einfallende und der reflectirte Strahl auch gleiche Winkel mit der Spiegelebene bilden.

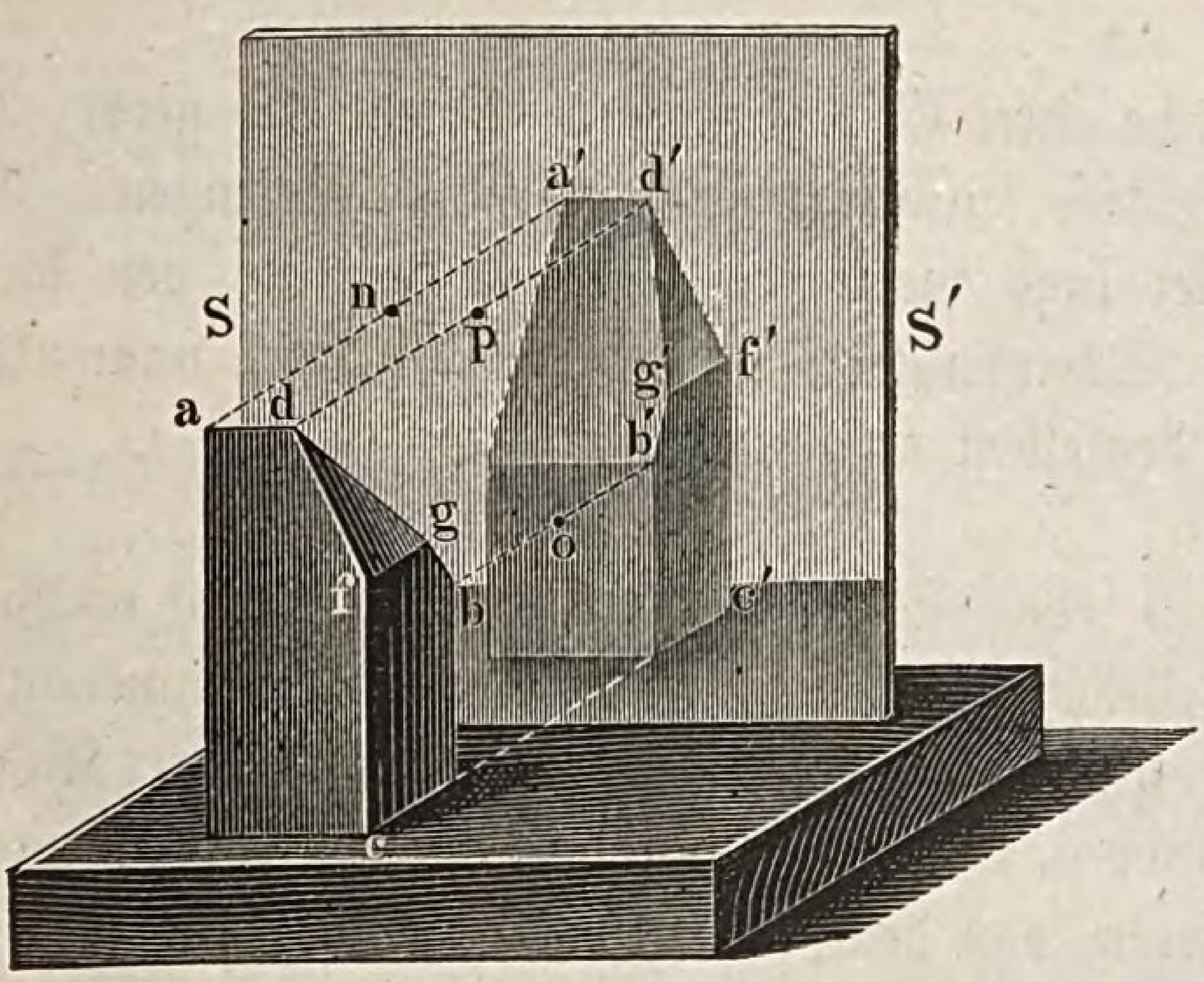
Aus diesem Gesetze ergiebt sich nun die Lage des Bildes, welches durch einen einen ebenen Spiegel von irgend einem davor liegenden Gegenstande entworfen wird. In Fig. 164 sei L ein leuchtender Punkt, Li ein Lichtstrahl, welchen er auf den Spiegel sendet, und mm' der Durchschnitt seiner Einfallsebene mit der Spiegelebene, so wird der Strahl nach dem genannten Gesetze in der Richtung ic reflectirt, er bewegt sich so, als ob er von einem Punkte hinter dem Spiegel käme. Ein in der Richtung Li' einfallender Strahl wird nach $i'c'$ reflectirt. Verlängert man die beiden gespiegelten Stahlen ic und $i'c'$ rückwärts, so schneiden

sich diese Verlängerungen in l, und man findet alsbald, daß alle von L aus auf den Spiegel fallenden Strahlen von ihm so reflectirt worden, als ob sie von l kämen, kurz l ist das Spiegelbild von L.

Was nun die Lage von l betrifft, so läßt sich durch einfache geometrische Sätze nachweisen, daß die Linie Ll rechtwinklig auf der Spiegelebene steht und daß $kL = kl$, daß also das Bild ebenso weit hinter der Spiegelebene liegt, wie L vor derselben.

Danach läßt sich nun auch das Bild eines vor dem Spiegel aufgestellten Gegenstandes construiren. In Fig 165 sei SS' ein senkrecht aufgestellter Spiegel und vor demselben stehe ein Klotz, wie ihn die Figur zeigt. Um das Bild des Ecks a zu finden, denke man sich von a ein Perpendikel an auf die Spiegelebene gefällt, dasselbe jenseits des Spiegels so weit verlängert, daß $na' = na$, so ist a' das Bild des Ecks a. Ebenso wird das Bild von d, von b, von c u. s. w. gefunden. Vergleicht man nun Bild und Gegenstand mit einander, so findet man leicht, daß das Bild eines näheren Punktes der Spiegelebene gleichfalls näher liegt, als das Bild eines entfernter liegenden, daß Bild und Gegenstand einander symmetrisch sind, d. h. daß sie sich verhalten wie rechte und linke Hand. Der Hammer, den man in der rechten Hand hält, erscheint im Spiegelbilde so, als ob man ihn in der linken Hand hielte.

Fig. 165.



Nun noch einige Worte über unsere gewöhnlichen Zimmerspiegel. Die vollkommensten Spiegel sind eben geschliffene und wohl polirte Metallplatten, etwa solche von Stahl, von Silber u. s. w. Sollten aber solche Spiegel bei einiger Größe gegen das Verbiegen gesichert sein, so müßte man sie ziemlich dick machen, wodurch sie nicht allein sehr schwer, sondern auch sehr theuer werden müßten. Dazu kommt noch der Uebelstand, daß solche Spiegel durch die Berührung mit der Luft leicht anlaufen und fleckig werden. Von allen diesen Uebelständen sind nun unsere Zimmerspiegel frei, welche bekanntlich aus einer geschliffenen Glasplatte bestehen, welche auf der Rückseite mit Zinnamalgam, einer Verbindung von Zinn und Quecksilber, überzogen sind. Das Glas dient also nur als Träger der Metallbelegung, welche den eigentlichen Spiegel bildet und welche eben durch das Glas vor der Berührung mit der Luft geschützt wird.

Um verständlich zu machen, wie die Metallbelegung hergestellt wird, breite man ein Stanniolblatt (ganz dünn gewalztes Zinn), welches 4 bis 5 Centimeter lang und breit ist, auf einem ebenen und horizontal stehenden Tische aus und gieße etwas Quecksilber darauf, so daß es gegen 2 Millimeter hoch damit bedeckt ist. Darauf wird dann eine wohlgereinigte Glasplatte, welche

etwas kleiner ist, als das Stanniolblatt, aufgelegt und aufgedrückt. Wird nun die Glasplatte aufgehoben, so haftet auf ihrer Rückseite eine Schicht von Amalgam fest an dem Glase, und die mit dem Glase in Berührung befindliche vollkommen glatte Oberfläche dieser Amalgamschicht ist es, welche den eigentlichen Spiegel bildet.

Eine so belegte Glasplatte bildet nun eigentlich zwei Spiegel; ein Theil des auffallenden Lichtes wird nämlich schon von der vorderen Glasfläche reflectirt und liefert ein erstes, freilich sehr lichtschwaches Bild; der größte Theil der Lichtstrahlen dringt durch die Glasplatte auf den Metallspiegel, um hier eine fast vollständige Reflexion zu erleiden und ein so lichtstarkes Bild zu erzeugen, daß man dagegen das lichtschwache Bild der vorderen Glasfläche meist gar nicht wahrnimmt.

Daß aber auch die Vorderfläche einer Glasplatte ein Spiegelbild giebt, davon kann man sich leicht mit Hülfe jeder unbelegten Glasplatte überzeugen. Besonders schön sieht man diese allerdings matteren Spiegelbilder an den durch geschliffene Glasplatten gebildeten Schaufenstern unserer Kaufläden, namentlich wenn dunklere Gegenstände hinter denselben aufgestellt sind.

74 **Kugelspiegel.** Während ebene Spiegel im alltäglichen Leben vielfache Verwendung finden, kommen gekrümmte Spiegel weit seltener zur Anwendung, weshalb wir sie auch nur kurz betrachten können; sie sind stets Stücke einer Kugeloberfläche und entweder auf der inneren, dem Krümmungsmittelpunkte zugewandten Seite polirt, oder auf der äußeren, von dem Mittelpunkte abgewendeten. Im ersten Falle hat man es mit Hohlspiegeln, Concavspiegeln zu thun, im letzteren mit Convexspiegeln. Die Hohlspiegel werden auch Sammelspiegel, die Convexspiegel werden auch Zerstreuungsspiegel genannt.

Kleinere Hohlspiegel von ungefähr 12 ^{cm} Durchmesser werden häufig als Rasirspiegel gebraucht; sie sind durch eine Glaslinse gebildet, welche auf der einen Seite eben, auf der anderen aber gewölbt ist. Die gewölbte Fläche AaB, Fig. 166, ist mit Spiegelamalgam belegt und bildet eigentlich den Hohlspiegel.

Fig. 166.

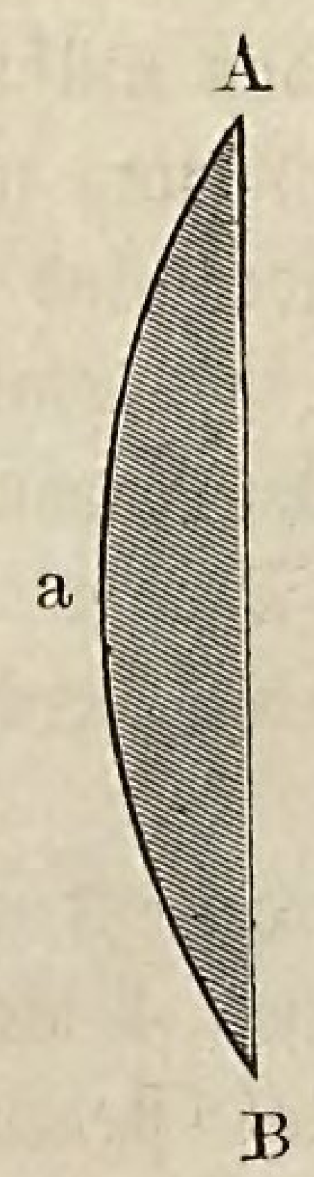
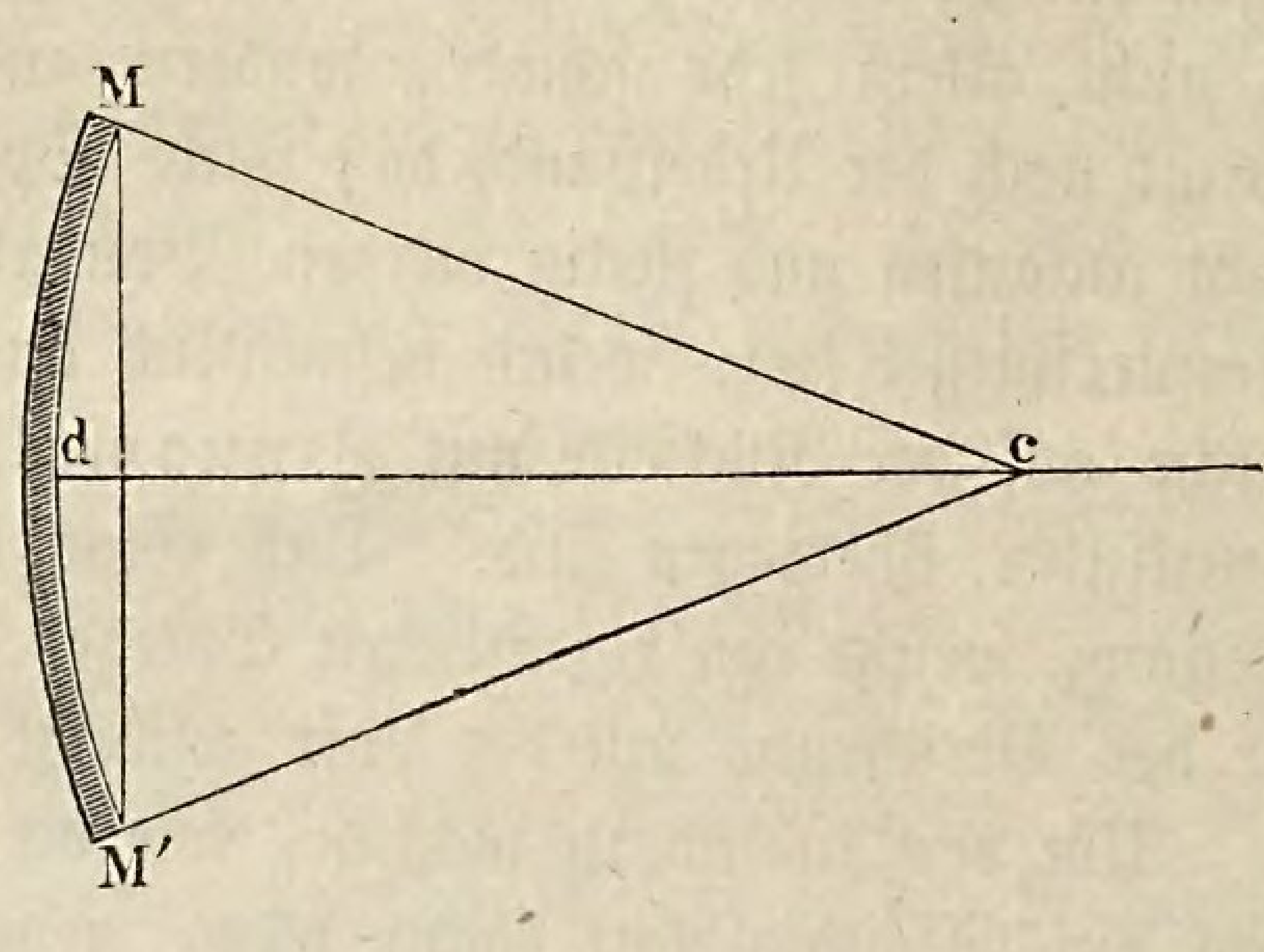


Fig. 167.

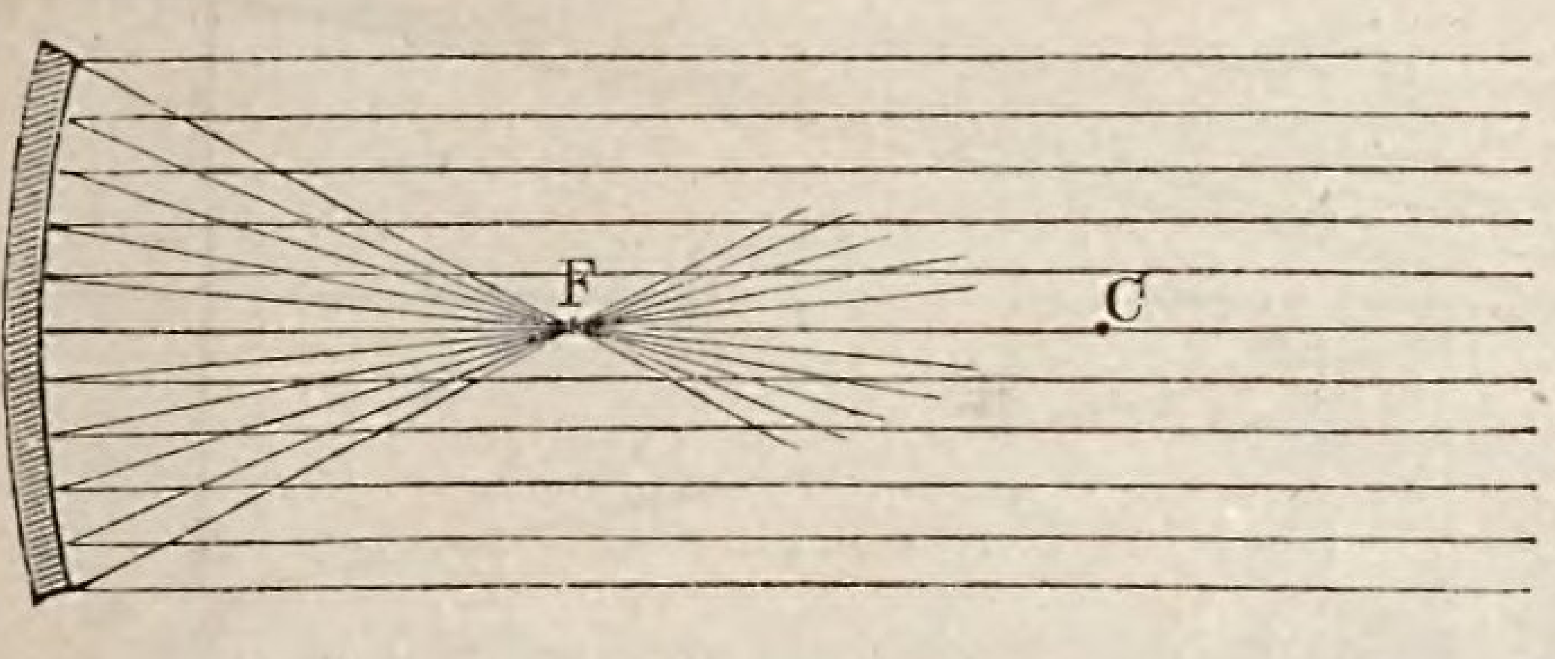


Das lichtschwache Spiegelbild der vorderen ebenen Glasfläche bleibt dem lichtstarken Bilde des Hohlspiegels gegenüber fast immer unbemerkt. Fig. 167 stellt den

Durchschnitt eines Kugelspiegels mit einer durch seinen Krümmungsmittelpunkt *c* und seinen Mittelpunkt *d* gelegten Ebene dar. Die Linie *dc*, welche den Mittelpunkt der Spiegelfläche mit ihrem Krümmungsmittelpunkt verbindet, ist die **Hauptaxe** des Hohlspiegels.

Wenn ein Bündel Lichtstrahlen parallel mit der Hauptaxe auf einen Hohlspiegel fällt, wie Fig. 168 andeutet, so werden dieselben so reflectirt, daß sie in einem Punkte *F* die Axe schneiden, welche in der Mitte liegt zwischen dem Spiegel und seinem Krümmungsmittelpunkt *C*. Es läßt sich dies durch einfache, aber hier nicht her gehörige geometrische Betrachtungen nachweisen, aus welchen sich denn auch ergiebt, daß dieser Satz nur eine angenäherte Richtigkeit hat, daß er nur so lange gilt, als die Krümmung des Spiegels von seiner Mitte bis zum reflectirenden Punkt, so lange also überhaupt die Krümmung des ganzen Spiegels nicht bedeutend ist. Für stärker gewölbte Hohlspiegel liegt der Vereinigungspunkt der Randstrahlen näher beim Spiegel als *F*. Im Folgenden soll stillschweigend vorausgesetzt sein, daß man nur mit schwächer gekrümmten Hohlspiegeln zu thun hat.

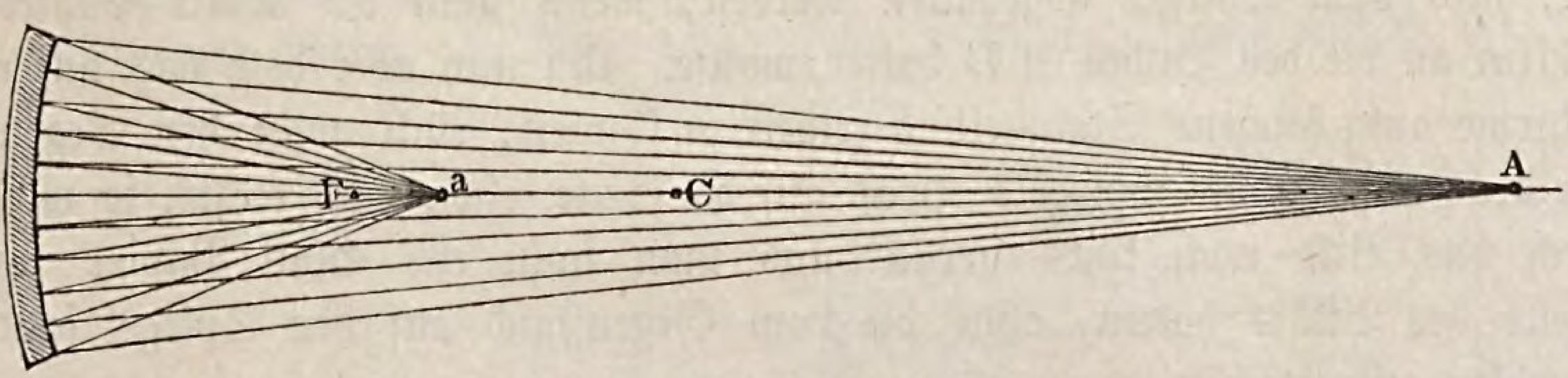
Fig. 168.



Hält man einen Hohlspiegel so, daß seine Axe gegen die Sonne gerichtet ist, so sind die ihn treffenden Sonnenstrahlen der Axe parallel, sie werden also im Punkte *F* vereinigt. In *F* werden aber nicht allein die von der Sonne kommenden Lichtstrahlen, sondern auch die vom Spiegel reflectirten Wärmestrahlen vereinigt, es entsteht hier eine solche Hitze, daß ein an diese Stelle gehaltenes Stückchen Papier alsbald entzündet wird, weshalb man diesen Punkt *F* den **Brennpunkt**, focus, des Hohlspiegels nennt.

Wenn der leuchtende Punkt auf der Axe dem Spiegel näher und näher rückt, so entfernt sich der Vereinigungspunkt der vom Hohlspiegel reflectirten Strahlen von demselben. Befindet sich der leuchtende Punkt jenseits des Kugelmittelpunktes *C* etwa in *A*, Fig. 169, so liegt der entsprechende Vereinigungspunkt in

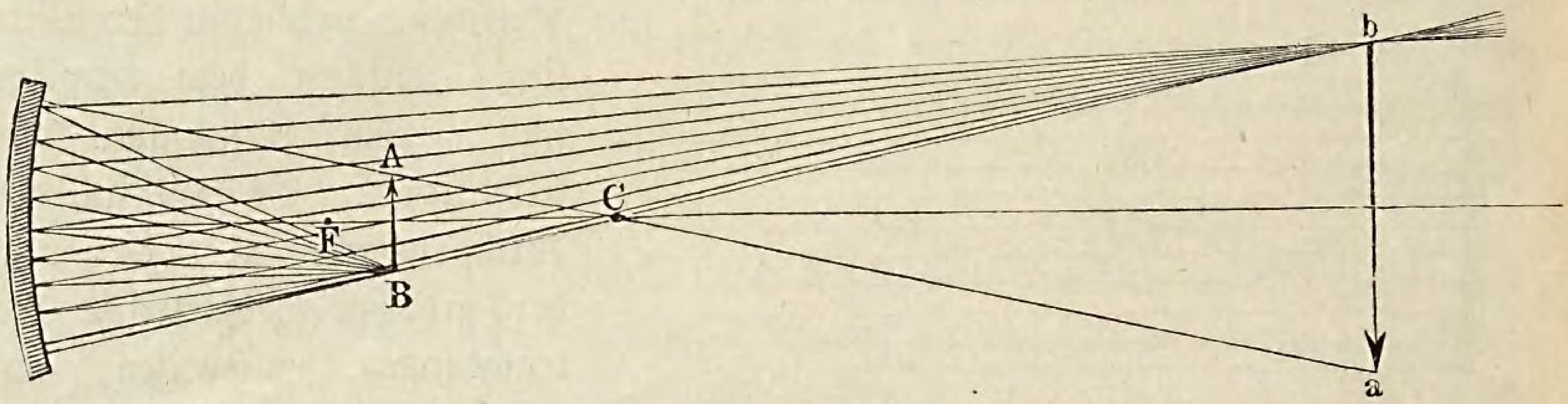
Fig. 169.



a zwischen dem Brennpunkt *F* und dem Kugelmittelpunkt *C*. Je näher *A* dem Kugelmittelpunkte *C* rückt, desto weiter entfernt sich *a* vom Spiegel. Befände sich der leuchtende Punkt in *a*, so wäre *A* der entsprechende Vereinigungspunkt.

Die Axe eines Strahlenbündels, welches von einem außerhalb der Hauptaxe des Hohlspiegels liegenden Punkte *a*, Fig. 170, auf denselben fällt, ist die durch den leuchtenden Punkt *a* und den Kugelmittelpunkt *C* gelegte gerade Linie. Auf dieser Linie liegt das Bild von *a* und zwar bestehen für die durch *a* und *C* gelegte Nebenaxe zwischen Bild und Gegenstand die gleichen Beziehungen, wie für die Hauptaxe, *A* ist das Bild von *a* und umgekehrt.

Fig. 170.



Liegt *a* unter der Hauptaxe, so liegt *A* über derselben. Alle von *b* aus auf den Hohlspiegel fallenden Strahlen werden durch denselben nach *B* reflectirt. Der unter der Hauptaxe liegende Punkt *B* ist das Bild des über der Hauptaxe liegenden Punktes *b*. Kurz von einem leuchtenden Gegenstande *ab*, welcher weiter von dem Hohlspiegel entfernt ist, als sein Kugelmittelpunkt, entwirft derselbe verkehrtes verkleinertes Bild, welches zwischen dem Brennpunkt *F* und dem Kugelmittelpunkt liegt. Befindet sich dagegen der leuchtende Gegenstand in *AB*, so erzeugt der Hohlspiegel von demselben ein verkehrtes vergrößertes Bild in *ab*.

Diese Bilder unterscheiden sich von den Bildern der ebenen Spiegel wesentlich dadurch, daß die von einem Punkte des Gegenstandes ausgehenden und den Hohlspiegel treffenden Strahlen wirklich wieder in einem Punkte vereinigt werden, weshalb man solche Bilder auch Sammelbilder nennt. Dieser Umstand erlaubt es, die Sammelbilder auf einem Schirme aufzufangen und sie dadurch von allen Seiten her sichtbar zu machen, indem man fremdes Licht möglichst vom Schirme abhält.

Wenn sich aber Gegenstand und Bild auf der Hauptaxe des Spiegels befinden und das Bild dem Spiegel näher liegt, so würden die vom Gegenstand *ab*, Fig. 170, auf den Spiegel fallenden Strahlen durch den Schirm aufgefangen, also vom Spiegel abgehalten werden, wenn man ein Blatt Papier als Schirm an die des Bildes *AB* halten wollte. Um nun aber doch das auf einem Schirme aufgefangene Sammelbild zeigen zu können, rückt man den Gegenstand von der Hauptaxe des Spiegels etwas auf die Seite, etwa nach rechts, so wird dadurch das Bild nach links gerückt und man kann ein Blatt Papier an die Stelle des Bildes halten, ohne die vom Gegenstand auf den Spiegel fallenden Strahlen aufzufangen.

Die gewöhnlichen Rasir-Hohlspiegel haben einen Durchmesser von 12 bis 16 und eine Brennweite von 25 Centimetern. Ein solcher Hohlspiegel sei an der Wand eines dunklen Zimmers aufgehängt und als Gegenstand diene eine Kerzenflamme, so wird man ungefähr folgende zusammengehörige Werthe für den Ab-

stand der Flamme und des verkehrten, auf einem Papierschirme aufzufangenden Sammelbildes derselben erhalten.

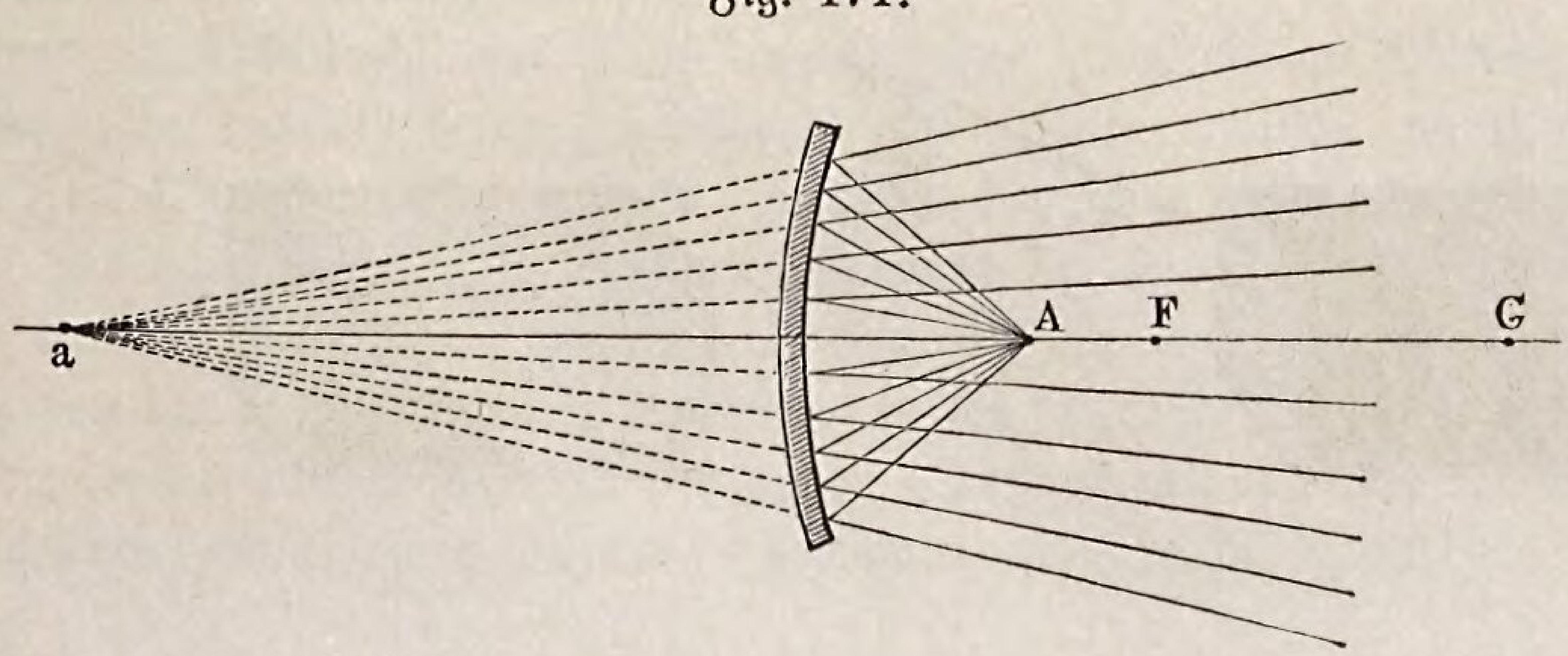
Abstand		Größe des Bildes
der Flamme	des Bildes	
125 Cm.	$31\frac{1}{4}$ Cm.	$\frac{1}{4}$ des Gegenstandes
100	$33\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$ " "
75	$37\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ " "
50	50	1 " "
$37\frac{1}{2}$	75	2 " "
$33\frac{1}{3}$	100	3 " "
$31\frac{1}{4}$	125	4 " "

Um den Versuch bequemer anzustellen, versieht man die Fassung des Hohlspiegels mit einem Stiel, mittelst dessen er auf einen Tisch eben so wie die brennende Kerze aufgestellt werden kann. Man stellt dann die Kerze der Reihe nach 125, 100, 75 u. s. w. Centimeter weit etwas seitlich von der Spiegelaxe auf und erhält dann das Sammelbild auf einem in der Hand gehaltenen Papierstreifen. Hat man die Flamme bis auf $31\frac{1}{4}$ Centimeter dem Hohlspiegel genähert, so erhält man ein 125 Centimenter vom Spiegel entferntes Sammelbild, welches 4 mal so groß ist, als die Flamme. Die Größe des Bildes verhält sich zu der des Gegenstandes, wie der Abstand des Bildes zum Abstand des Gegenstandes vom Kugelmittelpunkt C des Hohlspiegels.

Man kann aber das Sammelbild eines Hohlspiegels auch wahrnehmen, ohne es auf einem Schirme aufzufangen, wenn man das Auge in die Richtung des nach seinem Durchgang durch den Vereinigungspunkt wieder divergirenden (auseinanderfahrenden) Strahlenbündels bringt. So sieht man z. B. das gleichsam in der Luft schwebende verkehrte Bild seines eigenen Kopfes mittelst eines Hohlspiegels von 25 Centimenter Brennweite, wenn man sich in 100 bis 120 Centimeter Entfernung gerade vor denselben stellt.

Die bisher besprochenen Sammelbilder der Hohlspiegel entstehen nur, wenn der Gegenstand um mehr als die Brennweite von demselben entfernt ist; die zuletzt besprochenen Rasirspiegel geben also nur dann ein Sammelbild, wenn der Gegenstand über 25 Centimeter vom Spiegel entfernt ist. Rückt der leuchtende Punkt A, Fig. 171, dem Hohlspiegel noch näher, so werden

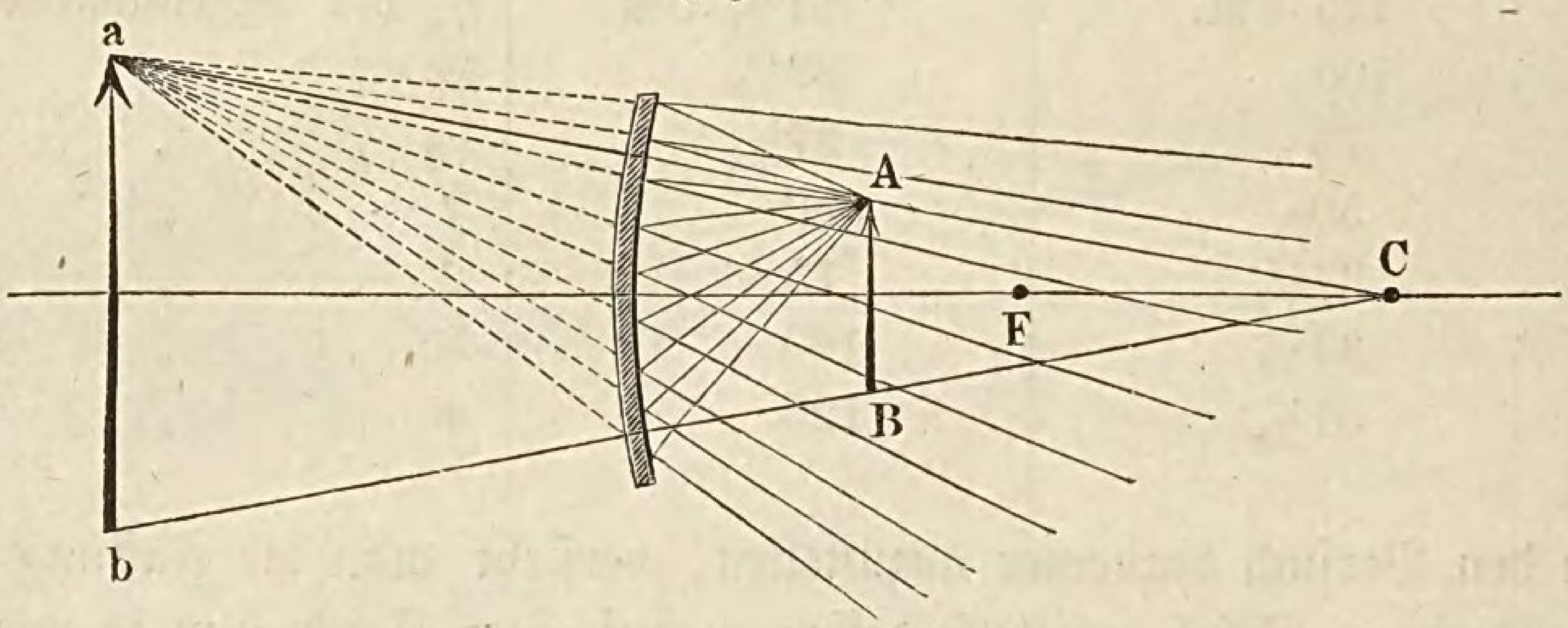
Fig. 171.



die von A aus auf den Hohlspiegel fallenden Strahlen so reflectirt, als ob sie von einem hinter dem Hohlspiegel liegenden Punkt a kämen, wir haben alsdann nur Scheinbilder, welche ganz in die Classe der Bilder ebener Spiegel fallen.

Befindet sich vor dem Hohlspiegel innerhalb der Brennweite (also näher als F) ein Gegenstand AB, Fig. 172, so wird jeder Punkt desselben in der erwähnten Weise ein hinter dem Spiegel gelegenes Bild liefern. Die von A aus auf den Hohlspiegel fallenden Strahlen werden so reflectirt, als ob sie von a kämen; a ist das Spiegelbild von A und ebenso ist b das Bild von B. Es ist also ab das aufrechte vergrößerte Scheinbild von AB. Diese aufrechten vergrößerten Scheinbilder der Hohlspiegel lassen sich leicht beobachten; man braucht den Rasirspiegel nur 8 bis 12 Centimeter weit vor das Gesicht zu halten, um das vergrößerte Bild desselben zu sehen. Es ist dies die gewöhnliche Anwendung, die man von solchen Hohlspiegeln macht, weshalb sie im gewöhnlichen Leben auch Vergrößerungsspiegel genannt werden.

Fig. 172.



Convexspiegel, d. h. Kugelspiegel, deren Außenfläche die spiegelnde ist, können nie Sammelbilder geben, sie erzeugen nur aufrechte verkleinerte Bilder der vor ihnen befindlichen Gegenstände, weshalb man sie auch Verkleinerungsspiegel nennt. In diese Classe gehören auch die spiegelnden Kugeln, welche öfters zur Verzierung in Gärten aufgestellt werden. Von einer näheren Besprechung der Verkleinerungsspiegel kann hier nicht die Rede sein.

75 **Brechung des Lichtes.** Neben ein Gefäß von möglichst undurchsichtigen und verticalen Seitenwänden, Fig. 173, stelle man eine Kerzenflamme

Fig. 173.

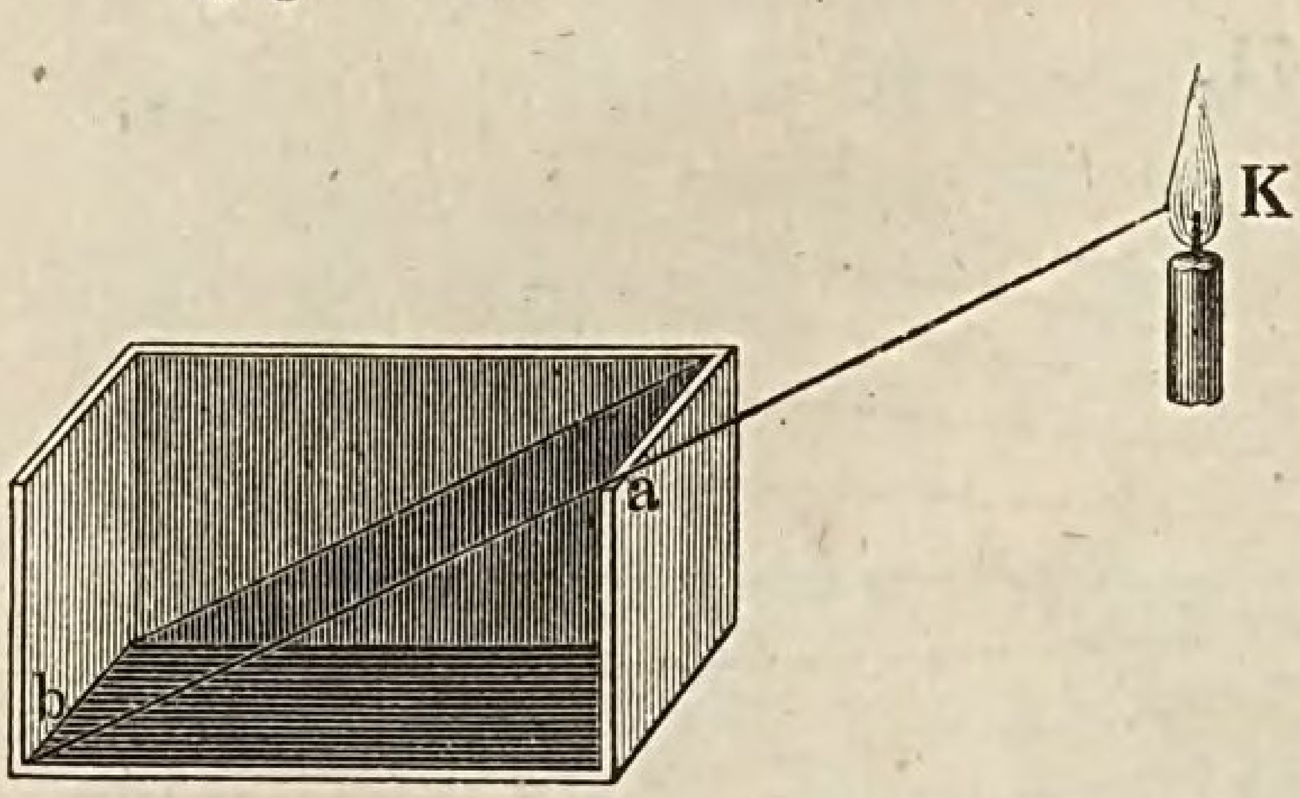
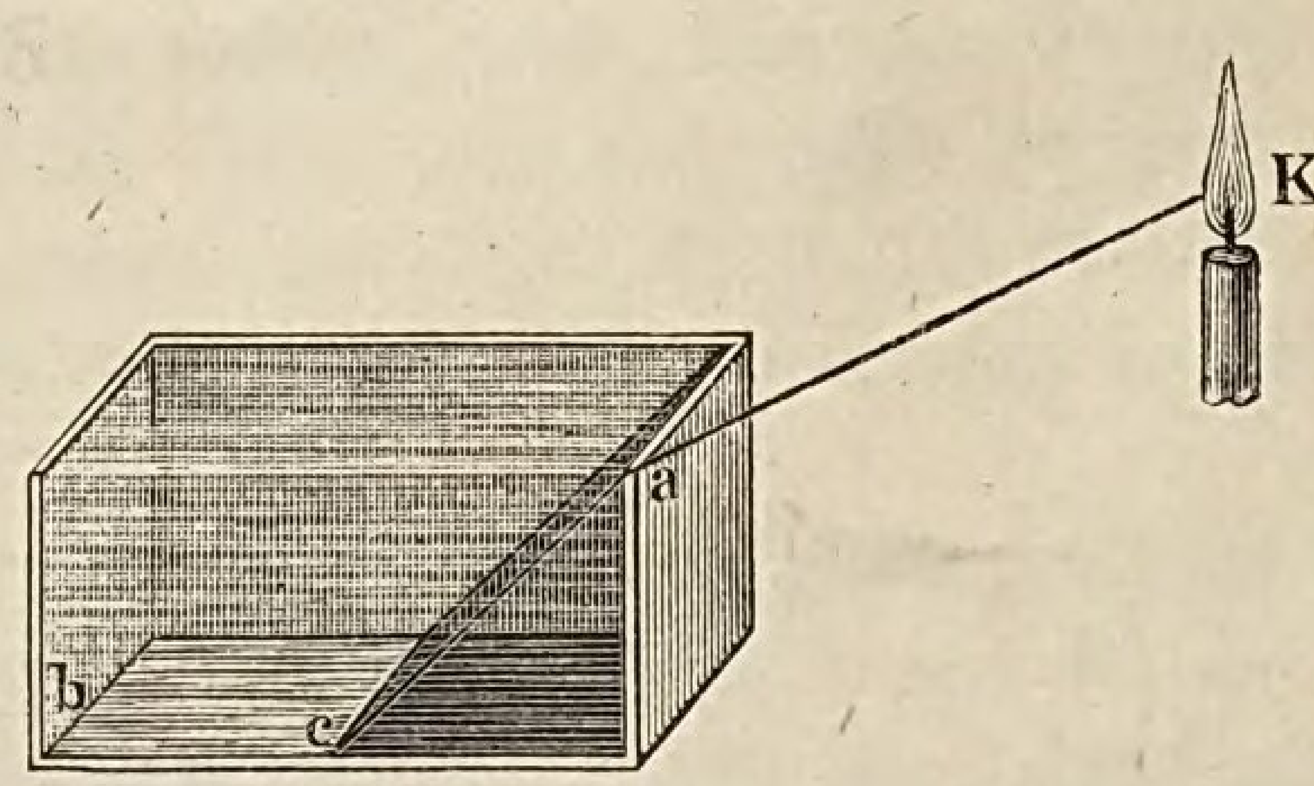
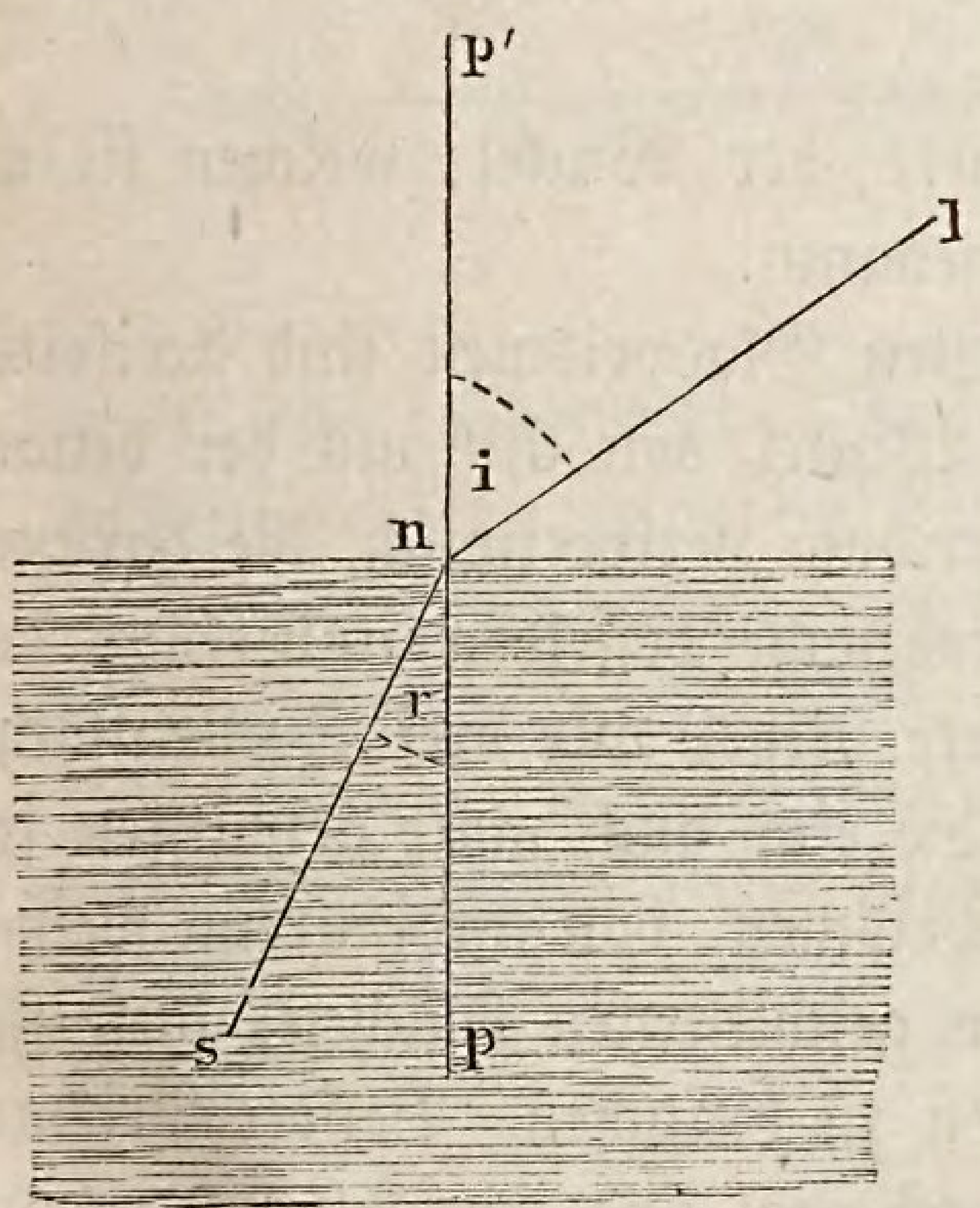


Fig. 174.



K gerade so, daß der Schatten des Punktes a am oberen Rande des Gefäßes gerade auf den Punkt b des gegenüberstehenden unteren Randes fällt, daß also der ganze Boden des Gefäßes im Schatten liegt. In unserer Figur ist der leichteren Darstellung wegen ein rechteckiges Gefäß gezeichnet, man kann aber den Versuch eben so gut mit einem runden, etwa einem Porzellangefäß anstellen. Ohne nun sonst irgend etwas zu ändern, gieße man das Gefäß bis oben hin voll Wasser, wie Fig. 174 andeutet, so wird nun jetzt ein großer Theil des Bodens, welcher vorher ganz im Schatten lag, beleuchtet sein. Der Lichtstrahl, welcher vorher von K ausgehend, den Rand des Gefäßes bei a streifte, geht nun nicht mehr in gerader Linie von K über a nach b, sondern er ändert in a beim Eintritt in das Wasser seine Richtung, um den Boden in c zu treffen. Eine solche Richtungsänderung, wie sie beim Eintritt eines Lichtstrahls aus Luft in Wasser stattfindet, wird mit dem Namen der **Brechung** bezeichnet. In Fig. 175 sei ln ein Lichtstrahl, welcher in Luft fortschreitend in n eine Wasseroberfläche trifft. Denken wir uns in n ein Perpendikel pp' auf der Oberfläche des Wassers errichtet, so ist dies das **Einfallsloth**, eine durch ln und pp' gelegte Ebene ist die Einfallsebene. Beim Uebergang aus Luft in Wasser bleibt nun der Strahl allerdings in der Einfallsebene, er wird aber derart von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt, daß der gebrochene Strahl einen kleineren Winkel mit dem Einfallsloth macht als der einfallende, der Brechungswinkel r ist kleiner als der Einfallswinkel i.

Fig. 175.



Das Gesetz, nach welchem der Brechungswinkel r vom Einfallswinkel i abhängig ist, kann hier nicht näher erörtert werden, es ist nur noch zu bemerken, daß bei gleichem Einfallswinkel die Größe der Ablenkung verschieden ist, je nachdem der Strahl aus Luft in verschiedene durchsichtige Stoffe übergeht. Beim Uebergang aus Luft in Glas ist die Ablenkung größer, als beim Uebergang von Luft in Wasser, oder mit anderen Worten, bei gleichem Werthe des Einfallswinkels i ist der entsprechende Werth von r kleiner beim Uebergang in Glas, als beim Uebergang in Wasser, **Glas ist stärker brechend als Wasser**.

Schwefelkohlenstoff ist stärker brechend als Glas, Anisöl und Diamant sind stärker brechend als Schwefelkohlenstoff.

Wenn ein Lichtstrahl eine Platte irgend eines durchsichtigen Stoffes, etwa eine Glasplatte, passirt, deren gegenüberstehende Wände einander parallel sind, wie dies Fig. 176 (a. f. S.) darstellt, so ist die Richtung $n'l'$ des austretenden Strahles der Richtung des eintretenden Strahles ln parallel. Ist dies aber nicht der Fall, so weicht die Richtung $n'l'$, Fig. 177 (a. f. S.), des austretenden Strahles von der des eintretenden ab und zwar um so mehr, je größer der Winkel ist, den die beiden Gränzflächen der brechenden Substanz mit einander machen.

Mit dem Namen eines **Prismas** bezeichnet man in der Optik jede durch-

sichtige Substanz, welche wenigstens an zwei Stellen durch ebene Flächen begränzt ist, die einen Winkel mit einander machen. Die Kante, in welcher sich diese bei-

Fig. 176.

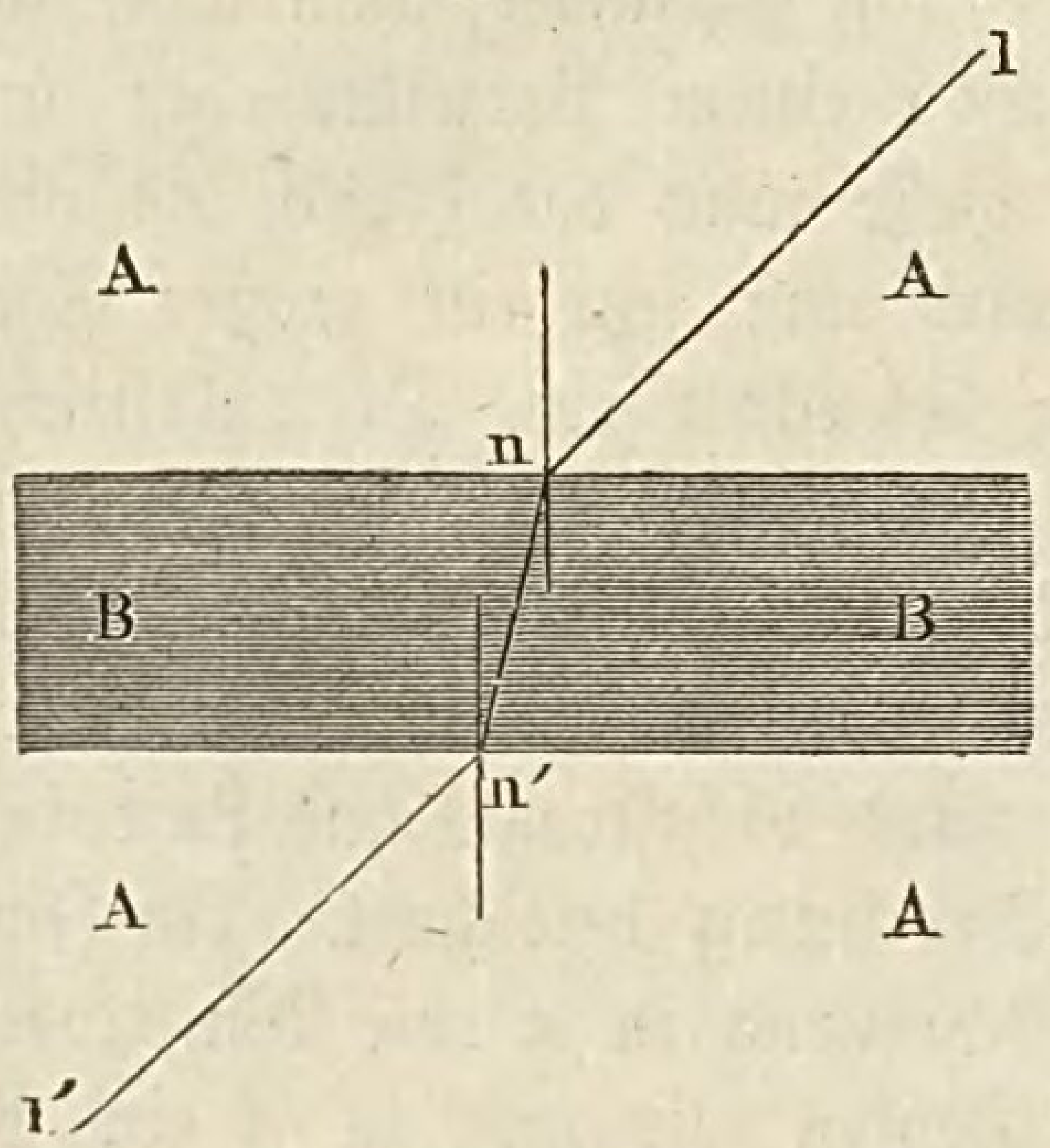
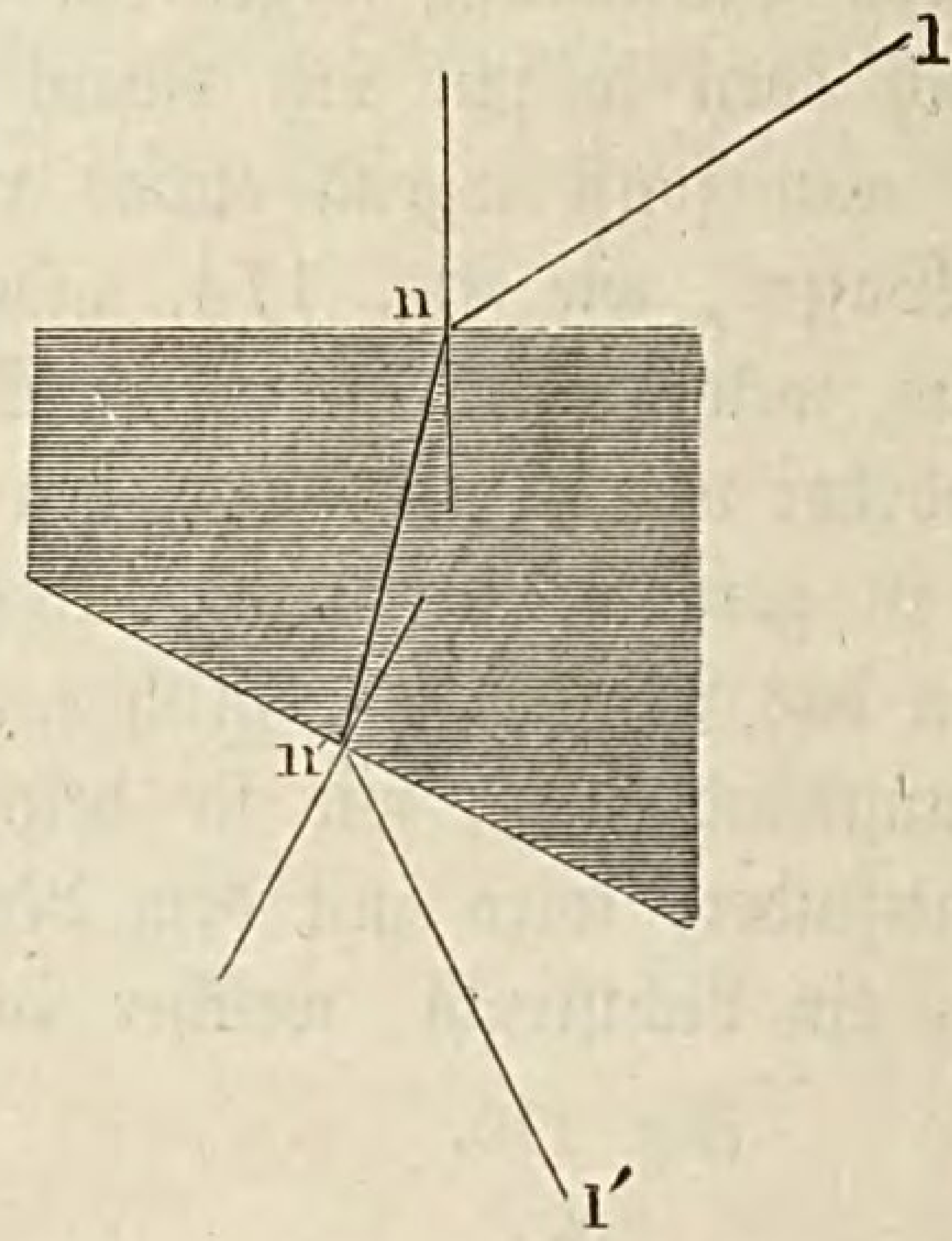


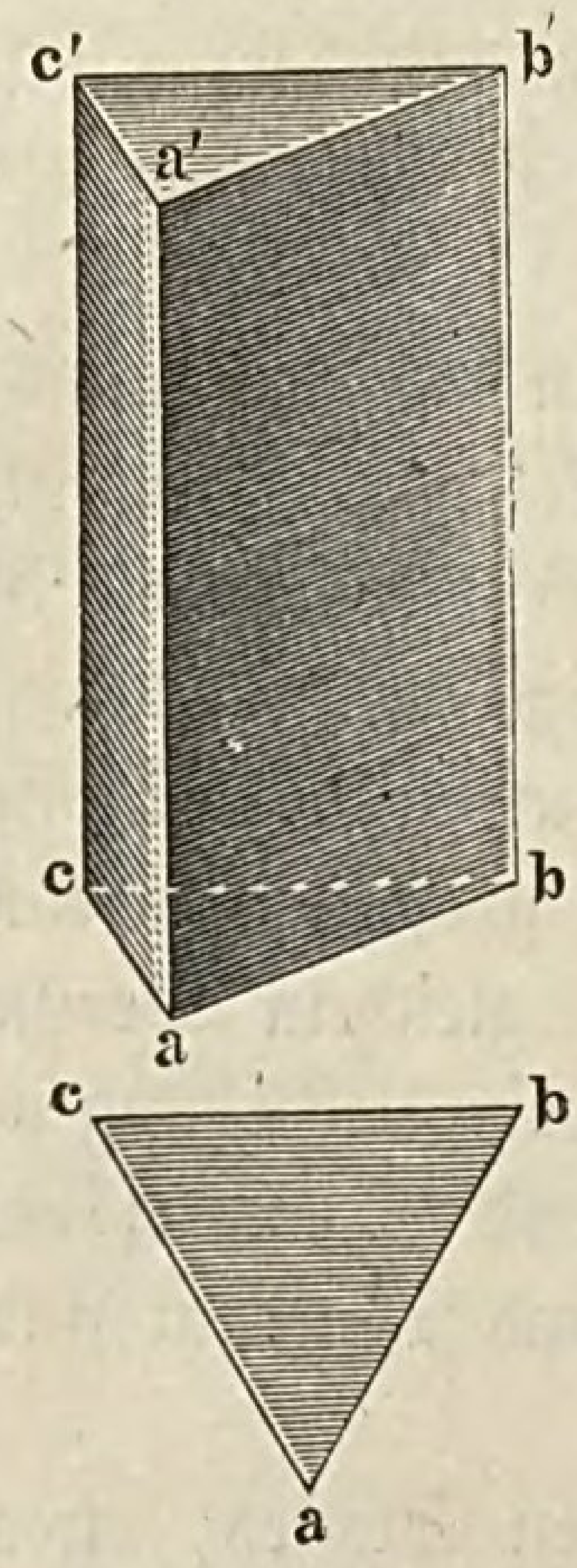
Fig. 177.



den Ebenen schneiden, wird die **brechende Kante**, der Winkel, welchen sie mit einander machen, wird der **brechende Winkel** genannt.

Die gewöhnlich zu Unterrichtszwecken benutzten Glasprismen sind dreiseitige Ecksäulen, an welchen jede Säulenfläche einen Winkel von 60⁰ mit der benachbarten macht. Fig. 178 stellt ein solches Glasprisma perspectivisch, die darunter stehende Figur stellt die Grundfläche desselben unverkürzt dar.

Fig. 178.



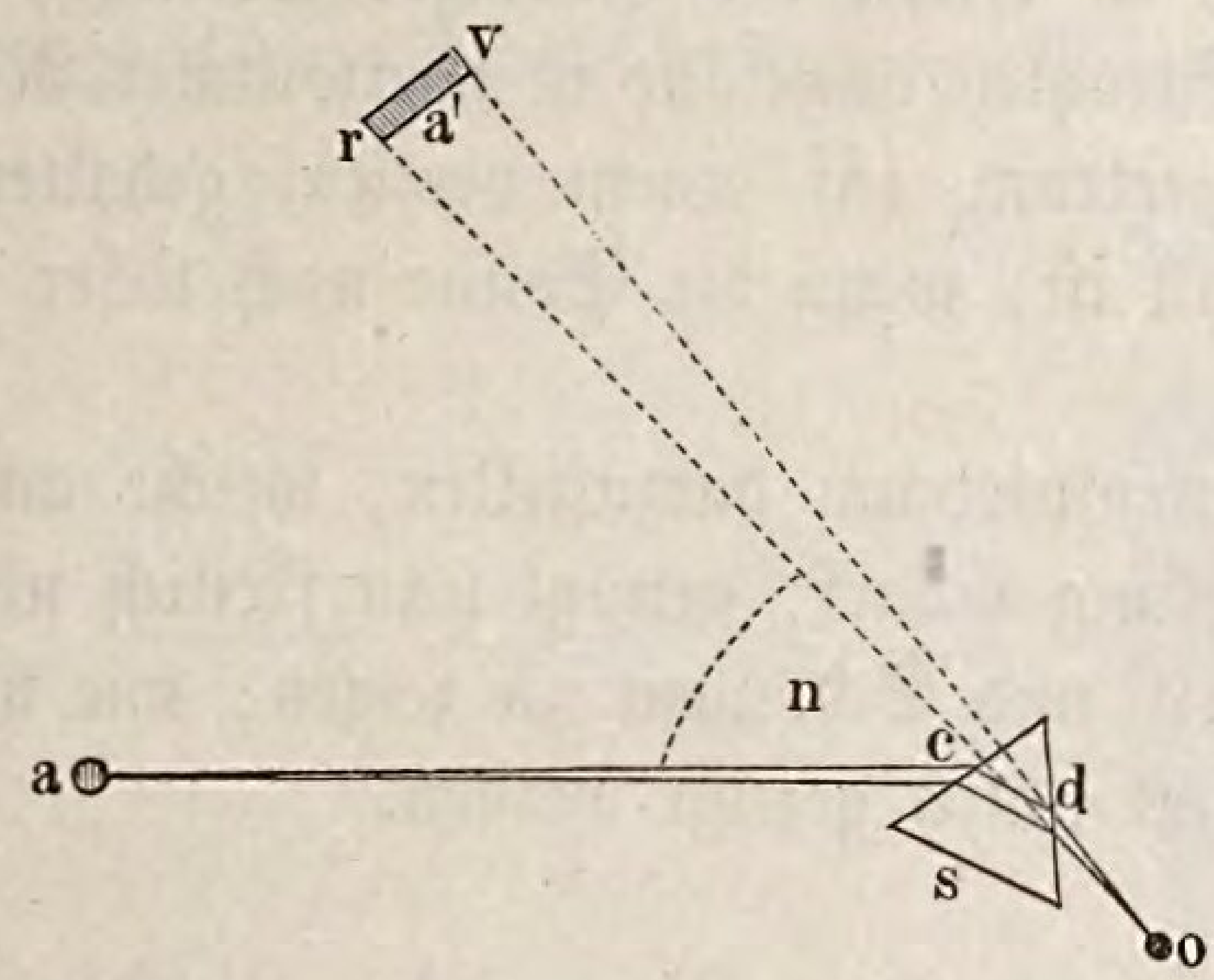
An diesen Prismen sind in der Regel alle drei Säulenflächen durchsichtig polirt, während die eine auch matt geschliffen sein könnte. Man hat solche Prismen von ordinärem weißem Glas mit nicht gehörig eben geschliffenen Flächen; diese sind nur zu den rohesten Versuchen zu brauchen. Bessere Prismen müssen aus reinem Glas verfertigt und ihre Flächen gehörig eben geschliffen sein. Um das später zu besprechende Farbenbild (Spectrum) recht schön zu erhalten, wendet man Prismen von **Flintglas**, einer Glassorte, an, welche eine mehr oder minder große Quantität Bleioxyd enthält. Das reine weiße, aber bleifreie Glas wird **Kronglas** genannt.

Um die **Ablenkung** der Lichtstrahlen kennen zu lernen, welche durch ein Prisma hervorgebracht wird, kann man am einfachsten in folgender Weise verfahren: In ein dunkles Zimmer stelle man ein Prisma *s*, Fig. 179, so auf, daß seine Kanten senkrecht stehen, und 5 bis 8 Schritte davon eine Kerzenflamme *a*. In unserer Figur sind Prisma und Kerzenflamme als von oben herab gesehen dargestellt. Unter den von der Flamme *a* nach allen Seiten hin ausgesandten Strahlen wird auch ein schmales Bündel die vordere Prismenfläche in der Richtung *ac* treffen, das Prisma in der Richtung *cd* durchlaufen und aus demselben in der Richtung *do* austreten. Wenn nun das austretende Strahlenbündel *do* in ein bei *o* befindliches Auge tritt, so wird dasselbe die Kerzenflamme in der Richtung *od* hin an einer Stelle sehen, welche eben so weit

von dem Prisma entfernt ist, als die Flamme selbst, also in a'. Das Auge in o sieht also das abgelenkte Flammenbild in a'; dieses abgelenkte Flammenbild ist aber keineswegs weiß wie die Flamme selbst, sondern es bildet einen in die Breite gezogenen Farbenstreifen, das Spectrum rv, dessen Farbenvertheilung später besprochen werden soll.

Für ein gleichseitiges Kronglasprisma (ein solches, dessen brechender Winkel 60° ist) beträgt die Ablenkung der Lichtstrahlen, d. h. der Winkel n, welchen die eintretenden Strahlen mit den austretenden machen, mindestens 38°; je nach der Stellung des Prismas kann die Ablenkung aber auch noch größer werden.

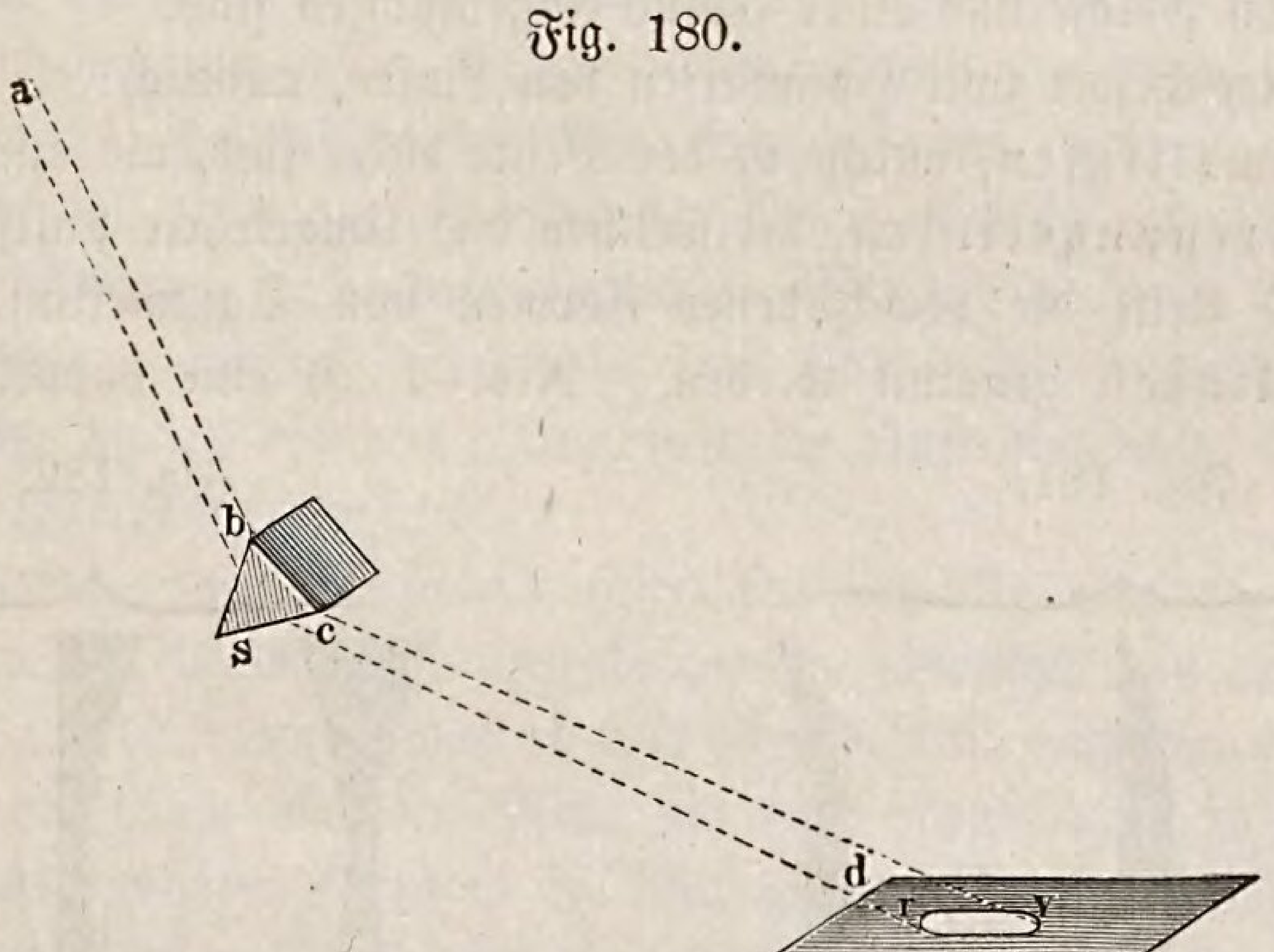
Fig. 179.



Die eben besprochene Art, den Versuch anzustellen, erläutert allerdings die Ablenkung der Lichtstrahlen durch ein Prisma sehr gut, allein die Beobachtung kann gleichzeitig nur durch eine einzige Person gemacht werden. Wenn mehrere Personen die Beobachtung machen sollen, so muß eben einer nach dem anderen sein beobachtendes Auge an die Stelle von o bringen. Um die Ablenkung gleichzeitig mehreren Personen zeigen zu können, muß man eine Lichtquelle zur Verfügung haben, deren Strahlen bei weitem lichtstärker sind, als die der Kerzenflamme. Am besten eignet sich hierzu das Sonnenlicht.

Den in der Richtung ab, Fig. 180, einfallenden Sonnenstrahlen setze man ein Glasprisma s von 60° so aus, daß seine Kanten horizontal liegen und es

Fig. 180.



ungefähr die in der Figur gezeichnete Lage gegen die einfallenden Sonnenstrahlen hat, so werden die in der Richtung ab einfallenden Strahlen in der Richtung cd austreten und von einem geeigneten Schirm, etwa einem Blatt weißen Papiers, aufgefangen, hier ein Farbenspectrum rv erzeugen. Um das abgelenkte Farbenbild rv deutlicher wahrnehmen zu können, muß man von dem Schirm, welcher dasselbe auffängt, mindestens die directen Sonnenstrahlen abhalten. Dies

ist z. B. der Fall, wenn man in der Nähe eines geöffneten Fensters das Prisma so hält, daß es selbst zwar noch von den Sonnenstrahlen getroffen wird, daß aber die Stelle des Bodens, auf welche das Spectrum fällt, bereits im Schatten liegt.

Die Richtung der Sonnenstrahlen ändert sich bekanntlich mit der Tages- und mit der Jahreszeit; dem entsprechend muß man dann auch die Stellung des Prismas ändern, und damit ändert sich dann endlich auch die Richtung der aus dem Prisma austretenden Strahlen und die Lage des Spectrums. Ist die Sonne so weit am Himmelsgewölbe gesunken, daß die einfallenden Strahlen einen Winkel von 52° mit der Senkrechten machen, so treten bei gehöriger Stellung des Prismas die durch dasselbe gebrochenen Strahlen ungefähr in horizontaler Richtung aus und man kann dann das Spectrum auf einem vertical gehaltenen Schirme auffangen, wie dies auch der Fall ist, wenn die Sonne noch tiefer gesunken ist.

Die eben besprochene Art, das Sonnenspectrum darzustellen, welche außer dem Prisma selbst keiner weiteren Vorrichtung bedarf, genügt nun freilich nicht, die Farben desselben in möglichster Reinheit und Schönheit zu zeigen; wie man zu diesem Zweck zu verfahren hat, soll weiter unten gezeigt werden.

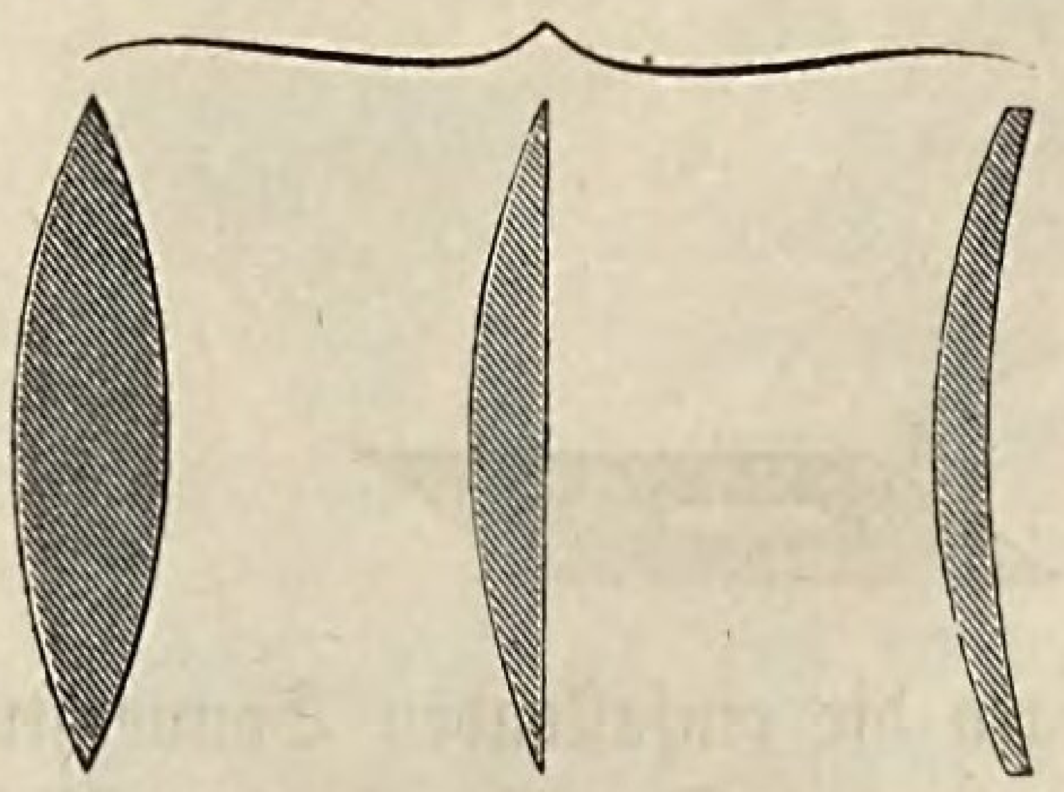
76 **Linsen.** Jedes einzelne Korn der unter dem Namen der Linsen bekannten Hülsenfrucht ist bekanntlich von zwei nach außen gewölbten krummen Flächen begränzt, deren jede ein Stück einer Kugeloberfläche ist und welche sich in einer scharfen kreisförmigen Kante schneiden. Den Namen der Linsen hat man auf Stücke reinen, durchsichtigen Glases übertragen, nicht nur, wenn deren Gestalt derjenigen der natürlichen Linsen ähnlich ist, sondern überhaupt auf Glasstücke, welche zwischen zwei kugelförmig gekrümmten Flächen oder einer kugelförmig gekrümmten Fläche und einer Ebene eingeschlossen sind.

Man unterscheidet zwei Hauptarten von Linsen, nämlich:

1. Sammellinsen, welche in der Mitte dicker sind, als am Rande, und
2. Zerstreuungslinsen, bei welchen das Umgekehrte stattfindet.

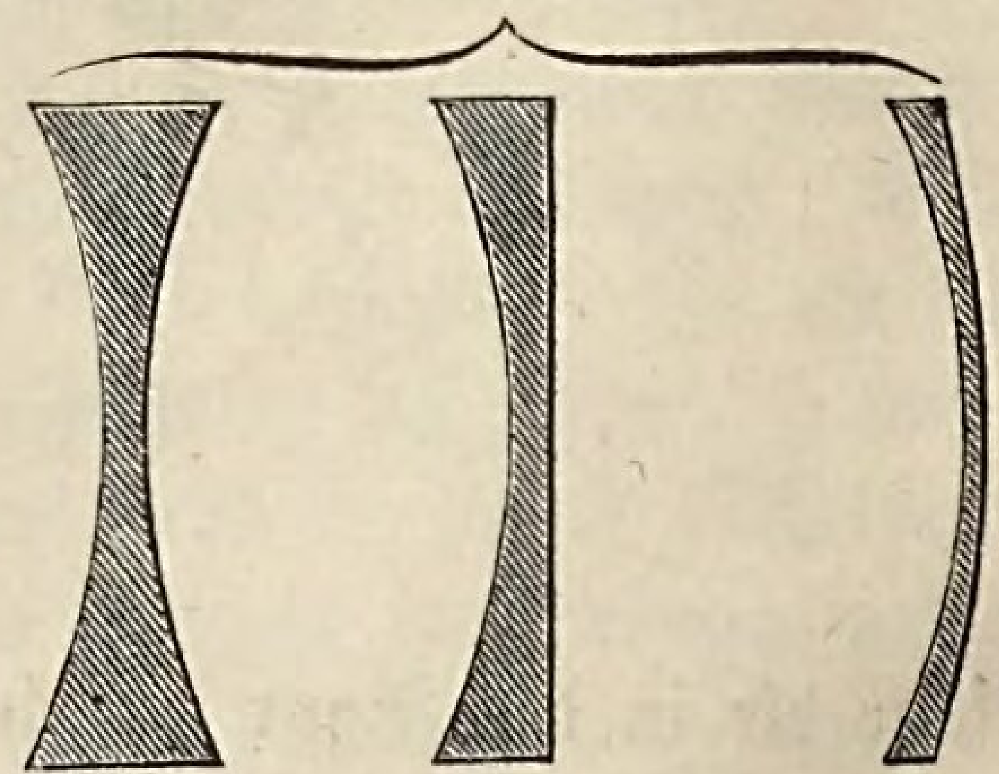
Fig. 181 stellt die verschiedenen Formen von Sammellinsen dar, welche auch Convexlinsen genannt werden. Nro. 1 ist eine doppelt gewölbte oder

Fig. 181.



1 2 3

Fig. 182.



1 2 3

doppelt convexe Linse, Nro. 2 ist eine planconvexe Sammellinse. Ebenso ist Nro. 1 und 2 der Fig. 182 eine doppelt concave und eine planconcave Zer-

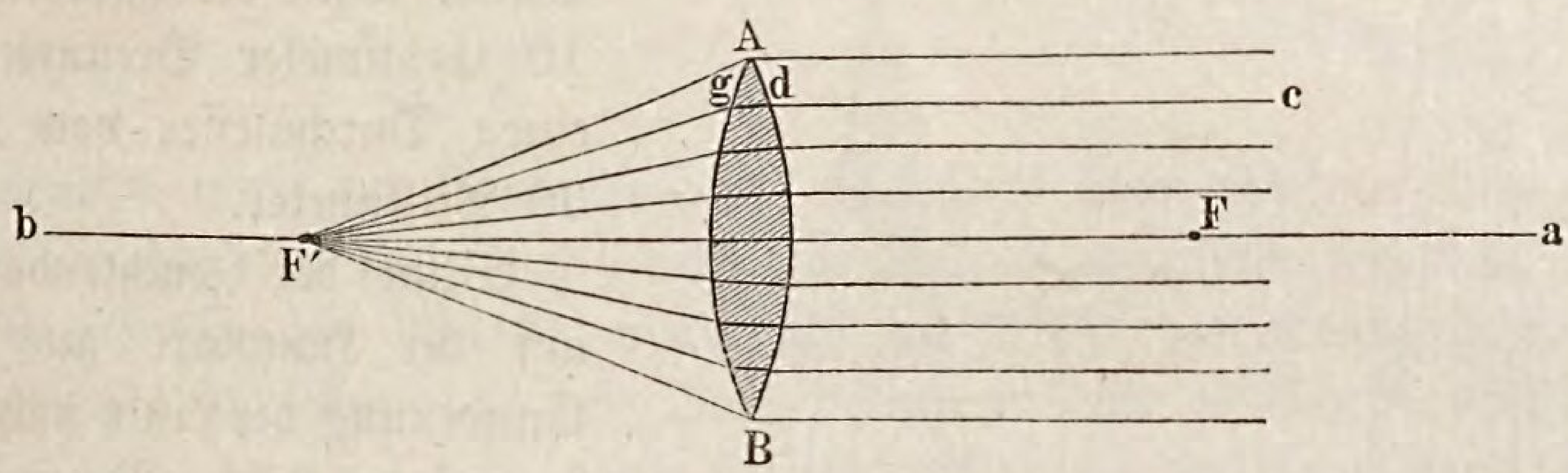
streuungslinse. Die seltener vorkommenden Formen, Nro. 3, Fig. 181 und Fig. 182, werden Menisken (Möndchen) genannt.

Die Axe einer Linse ist die gerade Linie, welche die Mittelpunkte der beiden Kugeloberflächen verbindet, durch welche die Linse gebildet wird. Bei planconvexen und planconcaven Linsen ist die Axe das von dem Krümmungsmittelpunkte der gewölbten Fläche auf die ebene gefällte Perpendikel.

Die Wirkung der Sammellinsen ist der der Hohlspiegel, die der Zerstreuungslinsen der Wirkung der Convexspiegel ähnlich.

Betrachten wir zunächst die Sammellinsen etwas näher. In Fig. 183 stelle AB den Durchschnitt einer Sammellinse mit einer durch ihren Mittelpunkt

Fig. 183.



gelegten Verticalebene dar; ab ist die Hauptaxe der Linse. Ein Strahlenbündel, welches von einem auf der Axe liegenden, aber sehr weit entfernten Punkt kommt, kann man ohne merklichen Fehler als ein mit der Axe paralleles Strahlenbündel ansehen, wie solches in unserer Figur auf der rechten Seite der Linse gezeichnet ist. Ein Strahl, welcher in der Richtung der Hauptaxe ab selbst einfällt, trifft rechtwinklig auf die Vorderfläche der Glaslinse und tritt rechtwinklig zur Hinterfläche derselben wieder aus, dieser Strahl durchläuft also die Linse, ohne eine Ablenkung zu erleiden. Betrachten wir aber irgend einen anderen außerhalb der Axe liegenden Strahl, etwa cd, so trifft derselbe in d nicht rechtwinklig auf die Linsenfläche, er wird von seiner ursprünglichen Richtung nach dg abgelenkt, um, bei g aus der Linse austretend, abermals eine Ablenkung in gleicher Richtung, d. h. nach der Axe hin zu erleiden. Der durch die Linse abgelenkte Strahl schneidet nun die Axe in einem Punkte F'.

Strahlen, welche parallel mit ab weiter von der Axe weg die Linse treffen, werden stärker, näher bei der Axe liegende werden schwächer von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt und zwar in dem Verhältniß, daß (vorausgesetzt, daß die Krümmung der Linse von der Mitte bis zum Rande nicht zu groß ist) alle aus der Linse austretenden Strahlen in dem gleichen Punkte F' die Axe schneiden, also in dem Punkte F' concentrirt werden, weshalb derselbe als Brennpunkt der Linse bezeichnet wird.

Um den Brennpunkt einer Sammellinse zu finden, setze man sie in der Weise den Sonnenstrahlen aus, daß ihre Axe gerade gegen die Sonne gerichtet ist, und fange dann die aus der Linse austretenden Strahlen mit einem Papierblatt auf, welches man so weit von der Linse entfernt, daß man ein scharfes Sonnenbild auf demselben erhält. Der Mittelpunkt dieses Sonnenbildes ist der

Brennpunkt der Linse und seine Entfernung von der Linse ist die **Brennweite** derselben.

Je größer der Halbmesser der Kugelflächen ist, welche eine Linse begränzen, desto größer ist seine Brennweite.

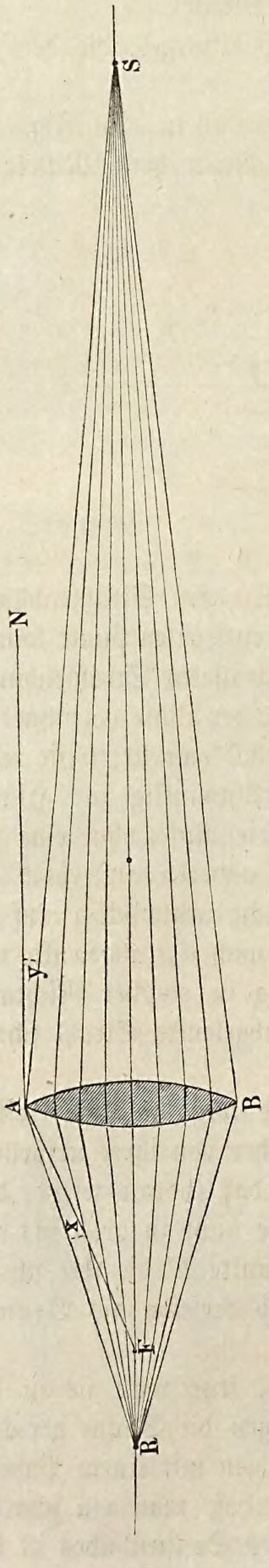


Fig. 184.

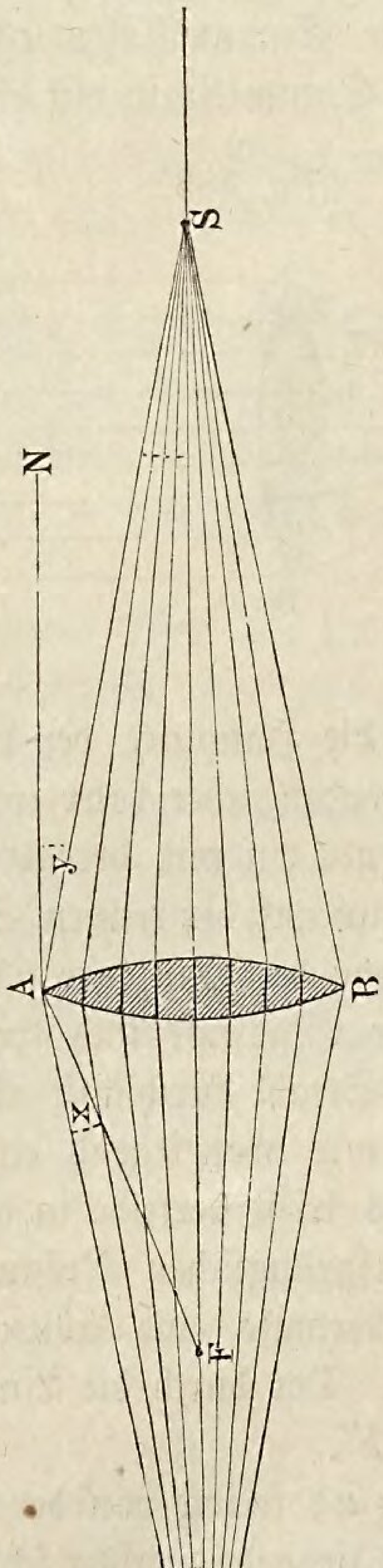


Fig. 185.

Bei gleicher Krümmung von der Mitte bis zum Rande ist natürlich der Durchmesser einer Linse um so größer, je größer ihre Brennweite ist. Linsen von sehr kurzer Brennweite haben auch einen ganz kleinen Durchmesser. Eine Kronglaslinse von 10 Centimeter Brennweite hat einen Durchmesser von 25 bis 30 Millimeter.

Wenn der leuchtende Punkt auf der Hauptaxe aus großer Entfernung der Linse näher rückt, so entfernt sich der Vereinigungspunkt vom Brennpunkt auf der anderen Seite. Ist z. B. an die Linse *AB*, Fig. 184, der leuchtende Punkt bis *S* herangerückt, so hat sich der entsprechende Vereinigungspunkt von *F* bis *R* entfernt. Ist der leuchtende Punkt *S*, Fig. 185, um die doppelte Brennweite von der Linse entfernt, so befindet sich auch der entsprechende Vereinigungspunkt in der doppelten Brennweite.

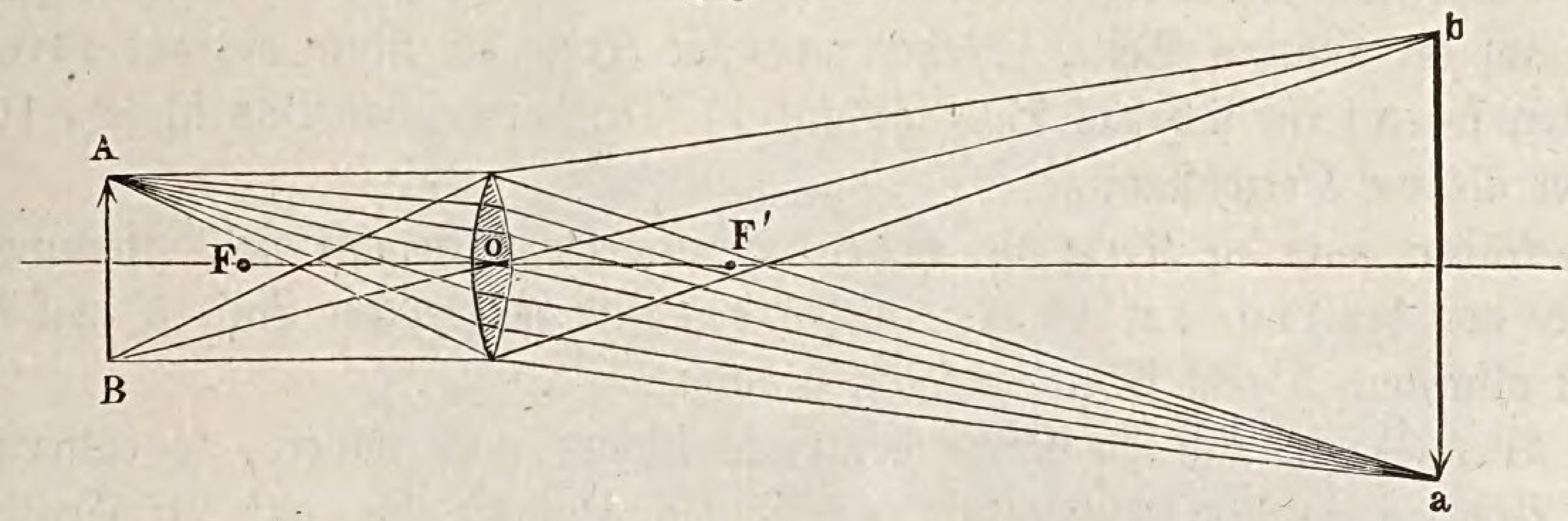
Befindet sich der leuchtende Punkt in *R*, Fig. 184, oder Fig. 185, so befindet sich der entsprechende Vereinigungspunkt in *S*.

Wenn ein leuchtender Punkt *a*, Fig. 186, nicht auf der Hauptaxe der Linse *VW* liegt, so ist *dd* von *a* durch die Mitte *O* der Linse gelegte gerade Linie die dem Punkte *a* entsprechende **Nebenaxe**. Auf dieser Nebenaxe liegt der Punkt *A*, in welchen alle von *a* aus auf die

Linse fallenden Strahlen vereinigt werden. Für die Abstände der zusammengehörigen Punkte a und A von der Linse bestehen für die Nebenaxe dieselben Beziehungen wie für die Hauptaxe.

Die von b aus auf die Linse fallenden Strahlen werden durch dieselbe in B vereinigt, AB ist also das Bild von ab. Das Bild ist ein verkehrtes,

Fig. 186.



denn wenn a unter der Hauptaxe liegt, so liegt A über derselben, und wenn sich b über der Hauptaxe befindet, so liegt sein Bild B unterhalb derselben.

Die Größe des Bildes verhält sich zur Größe des Gegenstandes wie die Entfernungen derselben von der Linse. Nehmen wir z. B. an, das Bild liege der Linse 10 mal näher als der Gegenstand, so ist das Bild 10 mal kleiner als derselbe. Liegt aber z. B. in einem anderen Falle der Gegenstand der Linse so nahe, daß sein Bild in 5 mal größerer Entfernung von der Linse entsteht, so ist das Bild 5 mal größer als der Gegenstand.

Fig. 187.

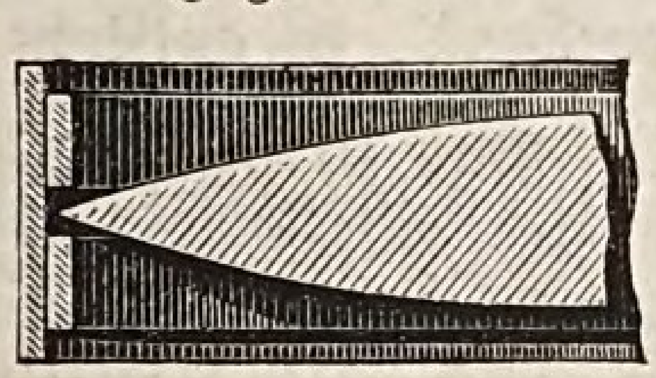
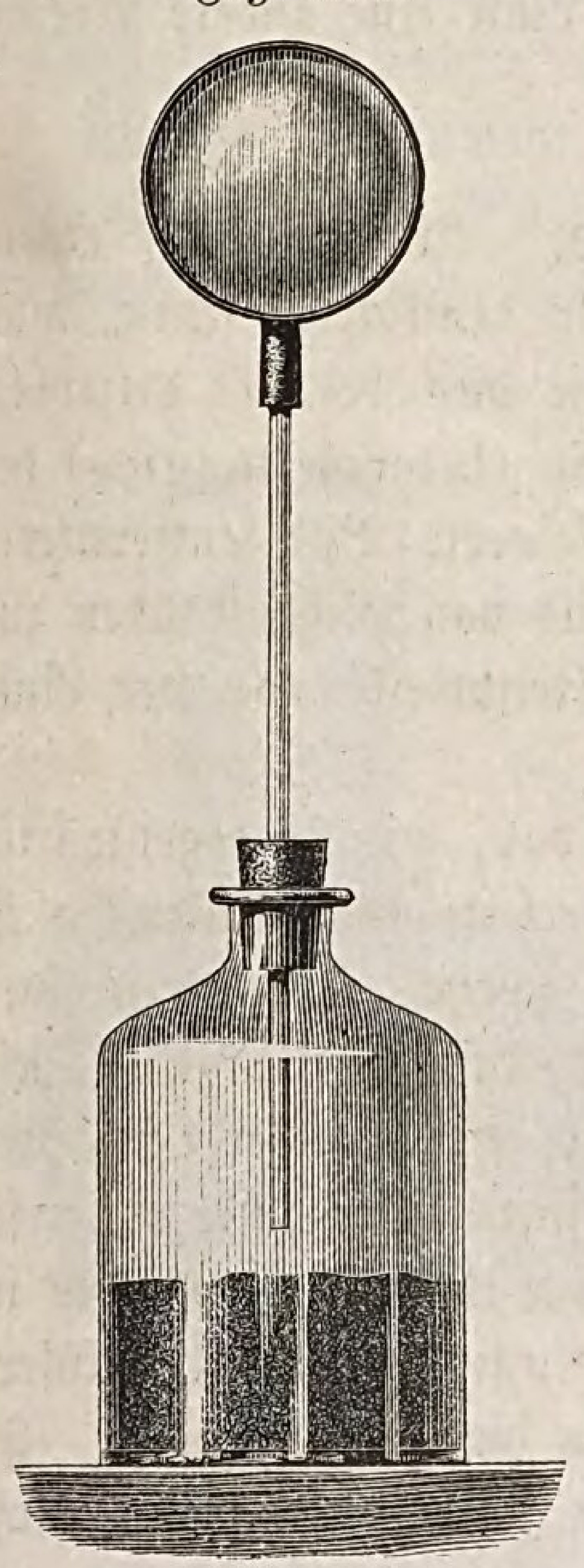


Fig. 188.



Um das oben Gesagte durch Versuche zu erläutern, ist es zweckmäßig, die Linse mit einer Fassung von Holz oder Pappendeckel zu versehen. Ist die Linse in einen hölzernen Ring gefaßt, so wird dieser auf ein hölzernes Stäbchen aufgeleimt und mittelst eines passenden Stativs auf einem Tische aufgestellt. Die Fassung der Linse mittelst eines Pappringes wird durch Fig. 187 und Fig. 188 erläutert. An den äußeren Pappring ist ein durchbohrter Korkstopfen angeleimt, in dessen Höhlung eine starke Glasröhre eingesteckt ist, die durch den Pfropf einer zur Hälfte mit Sand gefüllten Glasflasche geht und nach Belieben höher oder tiefer gestellt werden kann.

Die so vorgerichtete Linse wird nun auf den Tisch in einem nur durch eine Kerzenflamme erleuchteten Zimmer gestellt, welche in irgend einem Punkte der Linsenaxe angebracht wird. Nehmen wir z. B. an, die Brennweite der Linse, Fig. 186, betrage 10 Centimeter und man stelle die Kerzenflamme 210 Centimeter von der Linse auf, so liegt das Bild auf der anderen Seite $10^1/_2$ Centimeter weit von der Linse ent-

fernt, man muß ein weißes Blatt Papier auf der Rückseite der Linse derselben bis auf $10^1/_2$ Centimeter nähern, um ein scharfes, verkehrtes und verkleinertes Bild der Flamme auf diesem Schirme zu erhalten. Das Bild liegt in diesem Falle der Linse 20 mal näher, als der Gegenstand, folglich ist es auch 20 mal kleiner als derselbe.

Rückt man die Kerze der Linse auf deren Axe näher, so entfernt sich das Bild auf der anderen Seite. Nähert man die Kerze der Linse bis auf 110 Centimeter, so entfernt sich das Bild bis auf 11 Centimeter, das Bild ist jetzt 10 mal kleiner als die Kerzenflamme.

Nähert man die Kerze bis auf 60 Centimeter, so wächst die Entfernung des Bildes von der Linse auf 12 Centimeter, das Bild ist jetzt der Linse 5 mal näher, es ist also auch 5 mal kleiner als die Flamme.

Wenn man nun die Kerze der Linse immer noch nähert, so entfernt sich das Bild in raschem Verhältniß. Ist die Flamme bis auf 20 Centimeter (die doppelte Brennweite) der Linse genähert, so ist auch das Bild um die doppelte Brennweite von der Linse entfernt, Bild und Gegenstand sind jetzt gleich groß.

Nähert man die Kerze der Linse bis auf 12 Centimeter, so ist der Abstand des Bildes 60 Centimeter, das Bild ist jetzt 5 mal größer als der Gegenstand.

Wird die Kerze bis auf 11 Centimeter der Linse genähert, so entsteht das Bild in einer Entfernung von 110 Centimetern und ist 10 mal so groß als die Flamme selbst u. s. w.

Bei allen diesen Zahlenangaben ist stets eine Linse von 10 Centimeter Brennweite vorausgesetzt. Die Verhältnisse zwischen Entfernung und Größe von Bild und Gegenstand ändern sich natürlich, wenn die Linse eine andere Brennweite hat.

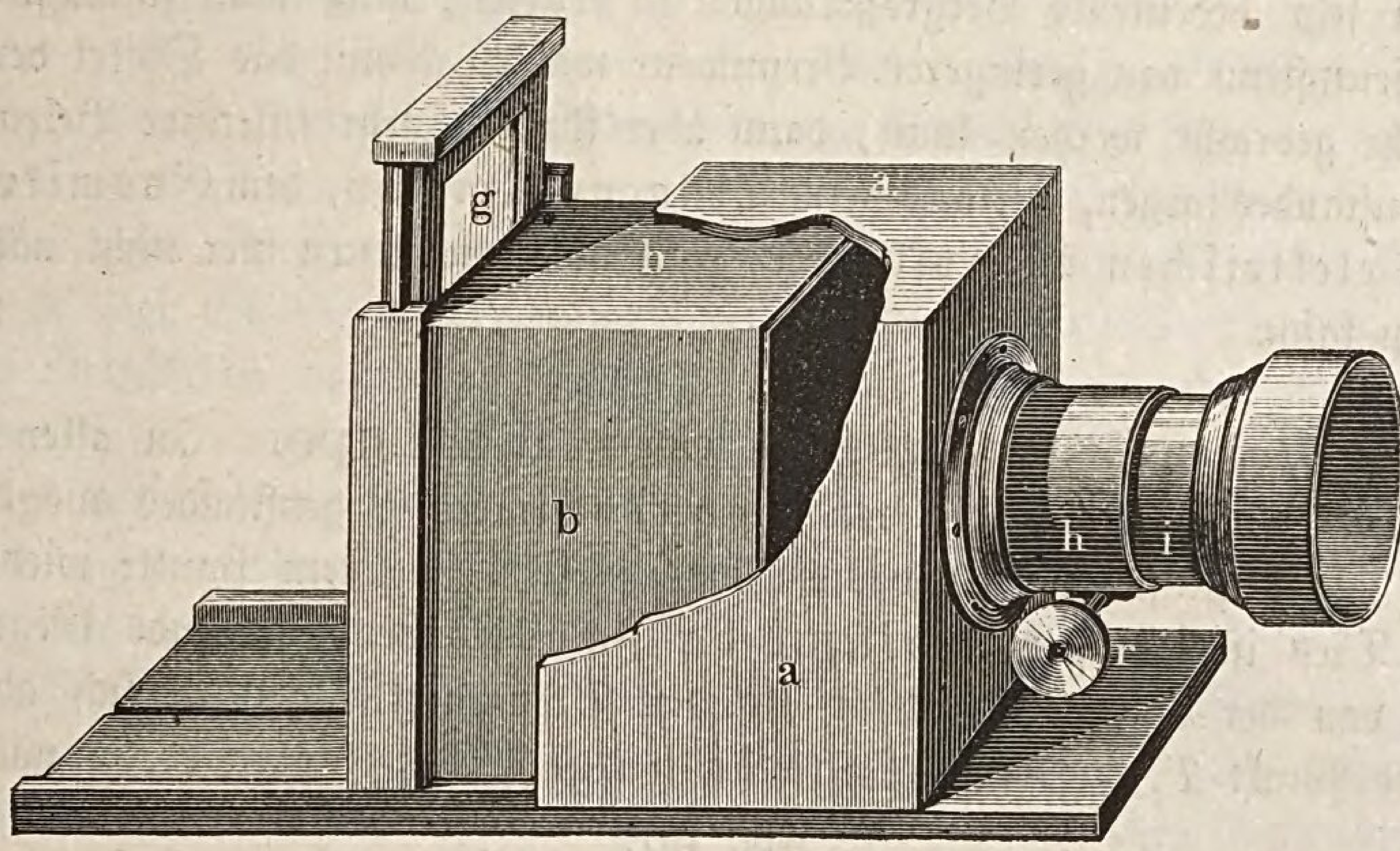
77 **Dunkle Kammer und Zauberlaterne.** Um das auf einem Schirme aufgefangene Sammelbild einer Convexlinse recht deutlich zu sehen, muß man fremdes Licht möglichst von demselben abhalten, wie dies bei der dunklen Kammer (camera obscura) und der Zauberlaterne (laterna magica) der Fall ist. Bei der ersteren kommt das verkehrte verkleinerte Bild entfernterer Gegenstände, bei letzterer das verkehrte vergrößerte Bild von Gegenständen zur Anwendung, welche von nur um wenig mehr als die Brennweite von der Linse entfernt sind.

Fig. 189 stellt die camera obscura in der Form dar, wie sie gegenwärtig von den Photographen gebraucht wird. Auf der Vorderseite des Kastens *a* ist eine messingene Hülse *h* befestigt, in welcher sich eine zweite, *i*, mittelst eines Triebes, der durch den Knopf *r* bewegt wird, aus- und einschieben läßt. Diese Hülse *i* enthält die Convexlinse, welche die Bilder mehr oder minder entfernter Gegenstände auf einer ihr gegenüberstehenden mattgeschliffenen Glastafel entwirft. Diese Glastafel *g* ist in einem Schieber befestigt, welcher die Rückwand des in den Kasten *a* hineinpassenden, nach vorn hin offenen Kastens *b* bildet. Unsere Figur zeigt den Schieber mit der Glasplatte *g* etwas in die Höhe gezogen. Je näher der Gegenstand rückt, dessen Bild man erhalten will, desto weiter muß

man den Kasten *b* aus *a* herausziehen. Die feinere Einstellung geschieht durch Verschiebung der Linse mittelst des schon erwähnten Triebes *r*.

Um das Bild auf der mattgeschliffenen Glastafel *g* möglichst rein und lichtstark zu erhalten, muß alles fremde Licht möglichst von derselben abgehalten werden.

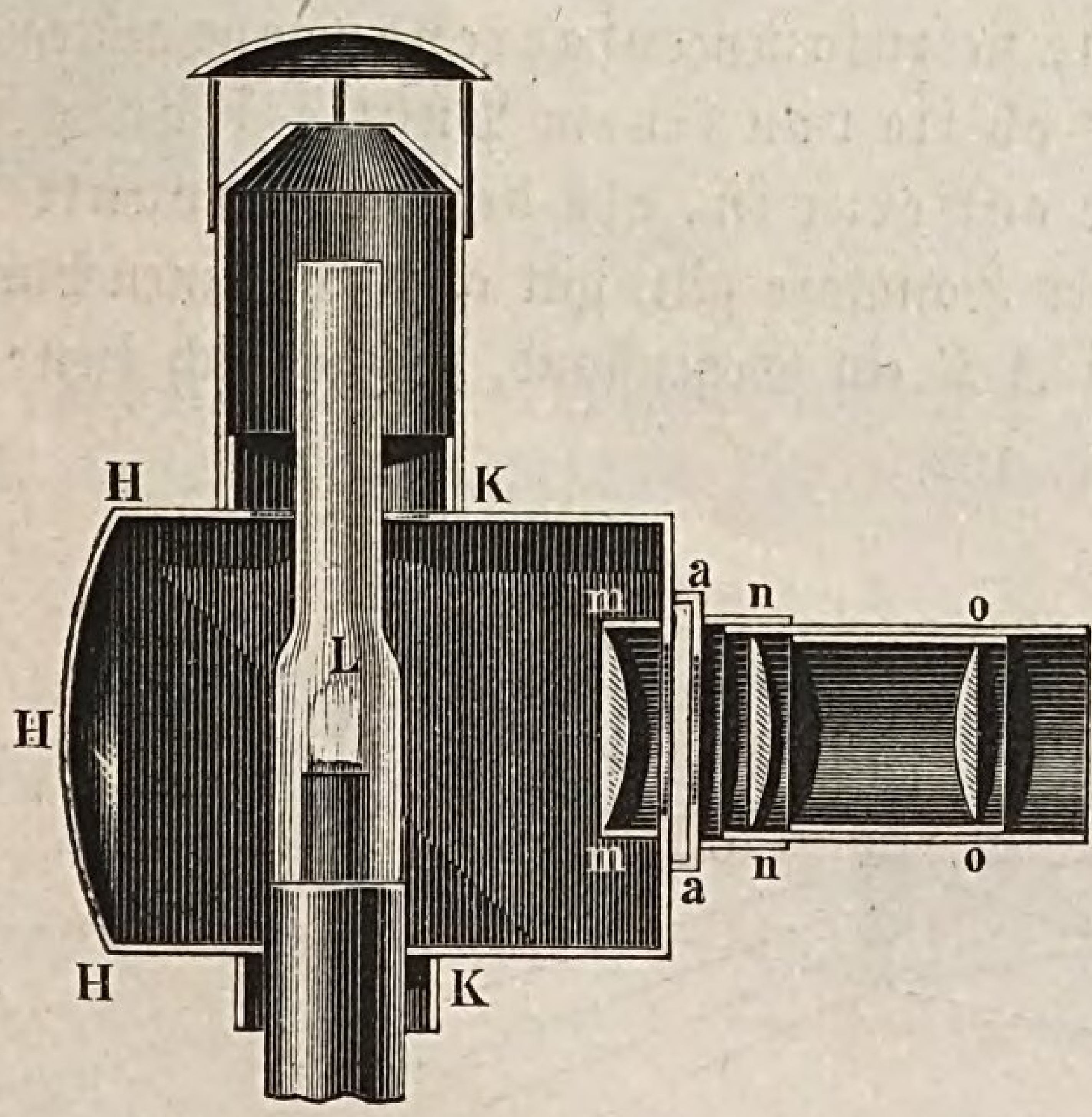
Fig. 189.



Dies geschieht von der einen Seite dadurch, daß der Kasten *a* sowohl wie *b* innen geschwärzt sind; von der Rückseite her aber wird das fremde Licht dadurch abgehalten, daß man auf den Kasten *a* ein hinlänglich großes schwarzes Tuch legt, welches über die linke Seite des Apparates herunterhängt. Unter dieses Tuch steckt der Beobachter seinen Kopf, wenn er das auf *g* entworfene Bild möglichst deutlich wahrnehmen will.

Ist das Instrument möglichst genau eingestellt, so wird der Schieber mit der mattgeschliffenen Glastafel entfernt und statt dessen ein anderer eingesetzt, welcher mit einer Collodiumschicht überzogen ist, auf welche die Lichtstrahlen in einer Weise chemisch einwirken, welche wir hier nicht näher besprechen können.

Fig. 190.



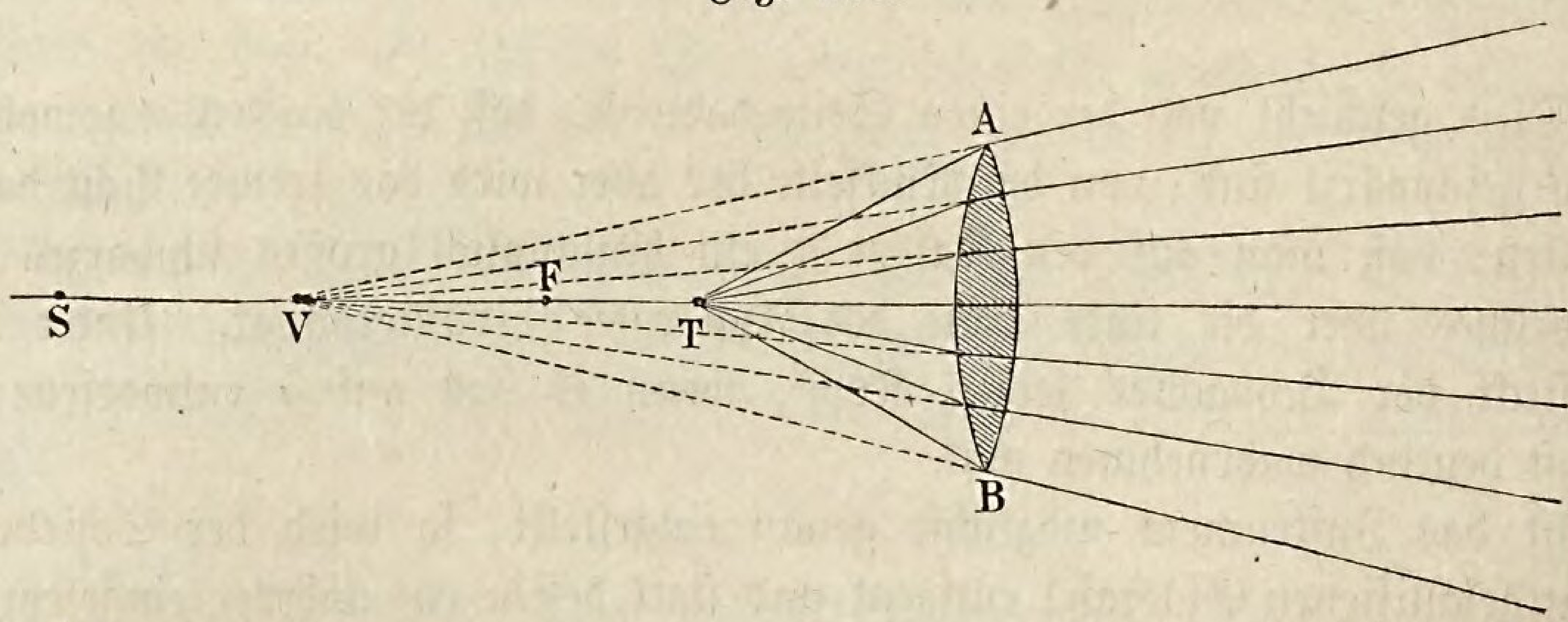
Die laterna magica ist eine allgemein bekannte optische Spielerei; die Einrichtung derselben wird durch Fig. 190 erläutert. Der mit irgend welchen Figuren bemalte Glasschieber wird bei *a a* eingeschoben und durch das Licht einer in einem möglichst verschlossenen Blechkasten *K* befindlichen Lampe *L* erleuchtet. Um die Strahlen auf dem Gemälde möglichst zu concentriren, besteht die Rückwand des Kastens *K* aus einem metallischen, wohlpolirten Hohlspiegel *H*; zu weiterer

Concentrirung der Lichtstrahlen auf dem bei *aa* eingeschobenen Glasgemälde dient dann noch die Linse *m*. Von dem gemalten Gegenstand bei *aa* wird nun durch das Linsensystem *nn* und *oo*, welche zusammen wie eine einzige stärkere Linse wirken auf einen weißen in einem dunklen Zimmer aufgestellten Schirm ein verkehrtes vergrößertes Bild entworfen.

Um sehr bedeutende Vergrößerungen zu erzielen, muß man zunächst Linsen oder Linsensysteme von geringerer Brennweite wählen, damit das Object der Linse recht nahe gebracht werden kann, dann aber für eine sehr intensive Beleuchtung des Gegenstandes sorgen, wie dies beim Sonnenmikroskop, dem Gasmikroskop und dem elektrischen Mikroskop der Fall ist, von denen hier nicht näher die Rede sein kann.

78 **Das Vergrösserungsglas oder die Lupe.** In allen bisher betrachteten Fällen wurden die von einem Punkte des Gegenstandes ausgehenden und auf die Linse fallenden Strahlen durch dieselbe in einem Punkte wieder vereinigt. Dies ist jedoch nur so lange der Fall, als der leuchtende Gegenstand weiter von der Linse entfernt ist als der Brennpunkt. Wenn sich aber der leuchtende Punkt *T*, Fig. 191, innerhalb der Brennweite (d. h. näher bei

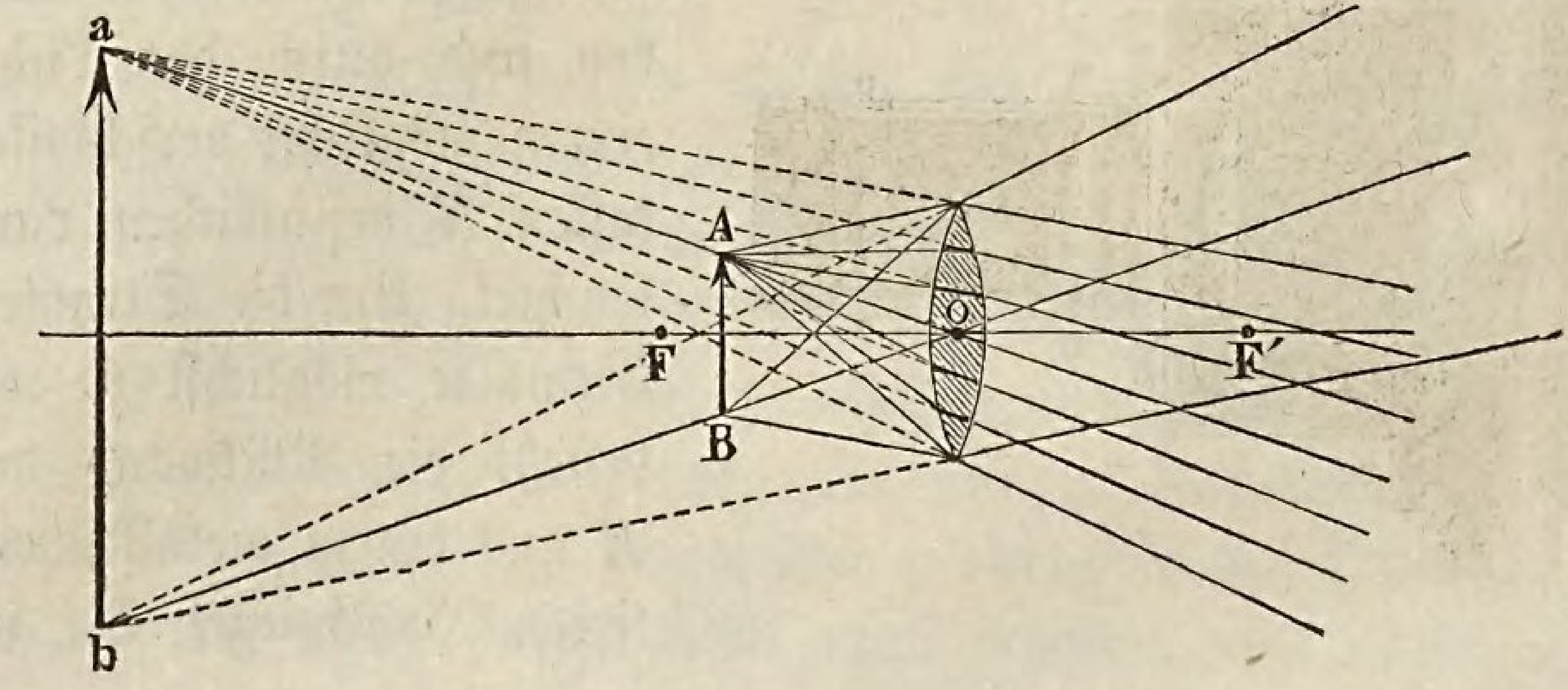
Fig. 191.



der Linse als ihr Brennpunkt *F*) befindet, so sind die von ihm ausgehenden und auf die Linse fallenden Strahlen so stark auseinanderfahrend (divergent), daß die Linse nicht mehr im Stande ist, sie zusammenfahrend (convergent) zu machen, sie divergiren nun so, als ob sie von einem Punkte *V* ausgingen, welcher weiter von der Linse entfernt ist, als der Brennpunkt *F*.

Was aber für einen Punkt auf der Hauptaxe gilt, gilt auch für einen Punkt außerhalb derselben. In Fig. 192 sei *AB* ein Gegenstand, welcher sich inner-

Fig. 192.



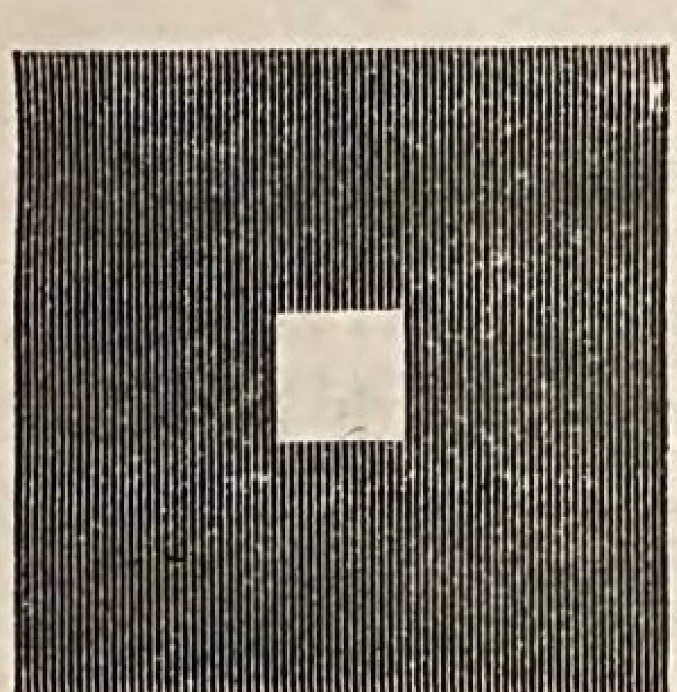
halb der Brennweite der Linse befindet. Die von A aus auf die Linse fallenden Strahlen divergiren nach ihrem Durchgang durch die Linse so, als ob sie von einem Punkte a kämen, welcher auf der von A durch die Mitte der Linse gezogenen Geraden in entsprechend größerer Entfernung liegt. a ist das Scheinbild von A. In gleicher Weise ist b das Scheinbild von B, also ab das aufrechte und vergrößerte Scheinbild von AB.

Ein solches Scheinbild kann natürlich eben so wenig auf einem Schirme aufgefangen werden, wie das Bild eines ebenen Spiegels, es läßt sich nur beobachten, wenn man die aus der Linse austretenden Strahlen in das Auge fallen läßt.

Man halte eine Linse von 5 bis 10 Centimeter Brennweite 3 bis 6 Centimeter hoch über ein Blatt eines aufgeschlagenen, klein gedruckten Buches, so wird man die Buchstaben namhaft vergrößert erblicken, wenn man das Auge in entsprechender Entfernung gerade über die Linse bringt. Stellt man den Versuch mit Linsen verschiedener Brennweite an, so findet man leicht, daß die Vergrößerung eine um so bedeutendere ist, daß man aber auch das Auge um so näher an die Linse heranbringen muß, je kleiner ihre Brennweite ist.

Solche Convexlinsen nun, welche in der eben angedeuteten Weise angewandt werden, nennt man Vergrößerungsgläser oder Lupen. Die sogenannten Lesegläser, deren sich fernsichtige Personen bedienen, um klein Gedrucktes lesen zu können, sind schwache Lupen, d. h. größere Linsengläser von größerer Brennweite. Stärkere Lupen, d. h. kleinere Linsen von geringerer Brennweite, werden von Botanikern und Mineralogen benutzt, um kleine Gegenstände deutlicher sehen zu können. In die Classe der Lupen gehört auch der Fadenzähler, den man sich ganz einfach in folgender Weise herstellen kann: Aus einem Stück etwas festen dunklen Papiers, Fig. 193, schneide man ein Quadrat aus, an welchem jede Seite etwa 5 Millimeter lang ist. Dieses Stück Papier wird auf das zu prüfende Gewebe gelegt und dann mit Hülfe einer Lupe von 3 bis 5 Centimeter Brennweite gezählt, wie viel Fäden auf die Breite von 5 Millimeter gehen. So fand sich z. B., daß bei einem mittelfeinen Taschentuch 18, bei einem Handtuch nur 9 Fäden auf die Breite von 5 Millimeter gehen.

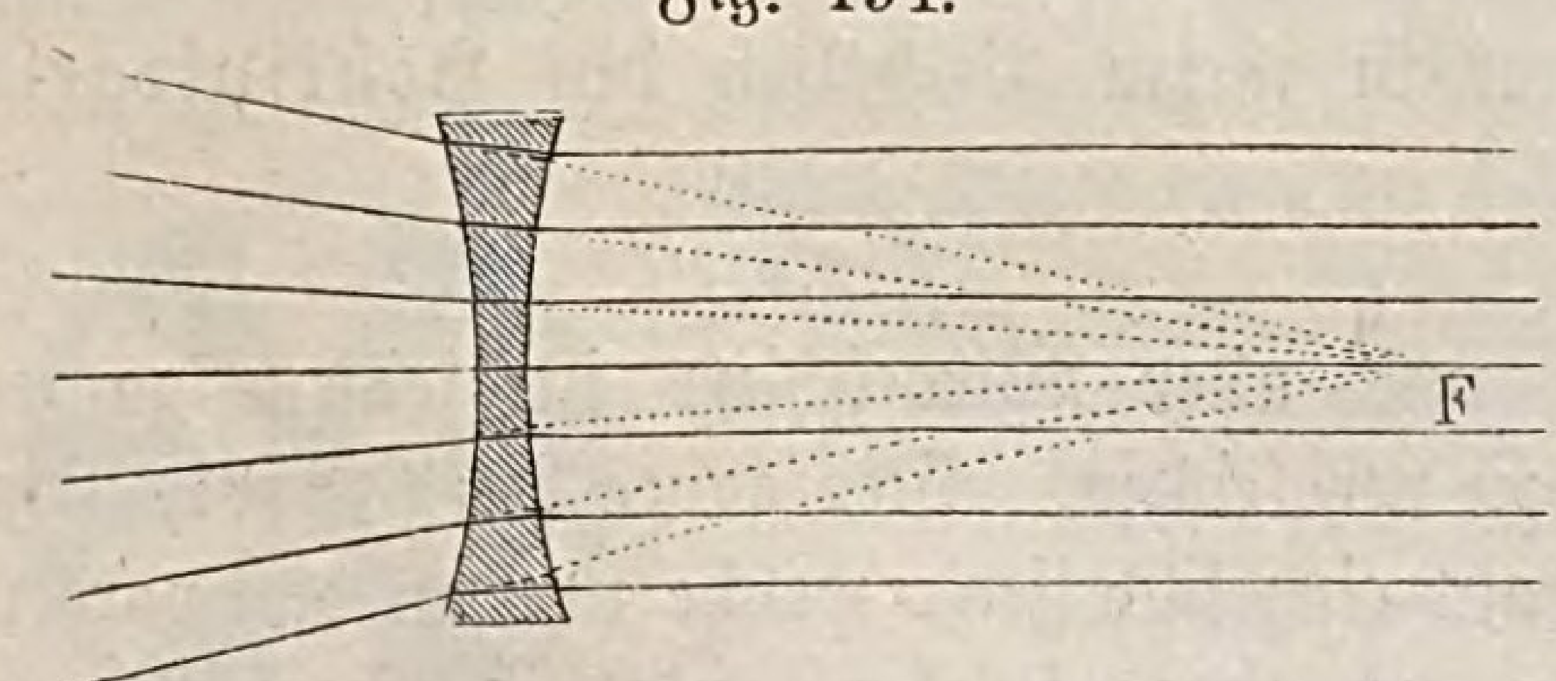
Fig. 193.



Um die Lupen bequemer handhaben zu können, sind sie meistens mit einer Fassung von Horn oder Messing versehen.

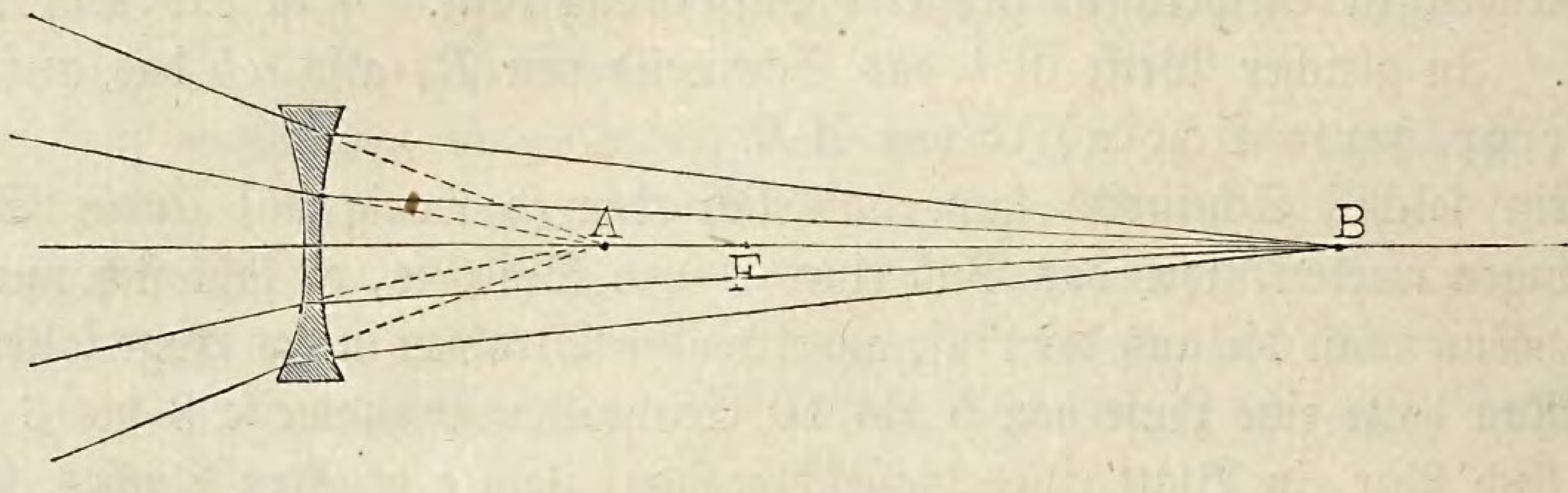
Hohllinsen. Wenn parallel mit der Hauptaxe einer Hohllinse, Fig. 194, ein Bündel Lichtstrahlen auf dieselbe trifft, so werden sie durch dieselbe so auseinander geworfen, als ob sie von einem Punkte F herkämen, der den Namen des Hauptzerstreuungspunktes führt. Die von einem Punkte B, Fig. 195 (a. f. S.), der Hauptaxe aus divergirend auf die Linse fallende Strahlen werden durch dieselbe 79

Fig. 194.



noch divergenter gemacht, und zwar so, daß sie von einem Punkte *A* zu kommen scheinen, welcher der Linse noch näher liegt, als der Zerstreuungspunkt *F*. Je

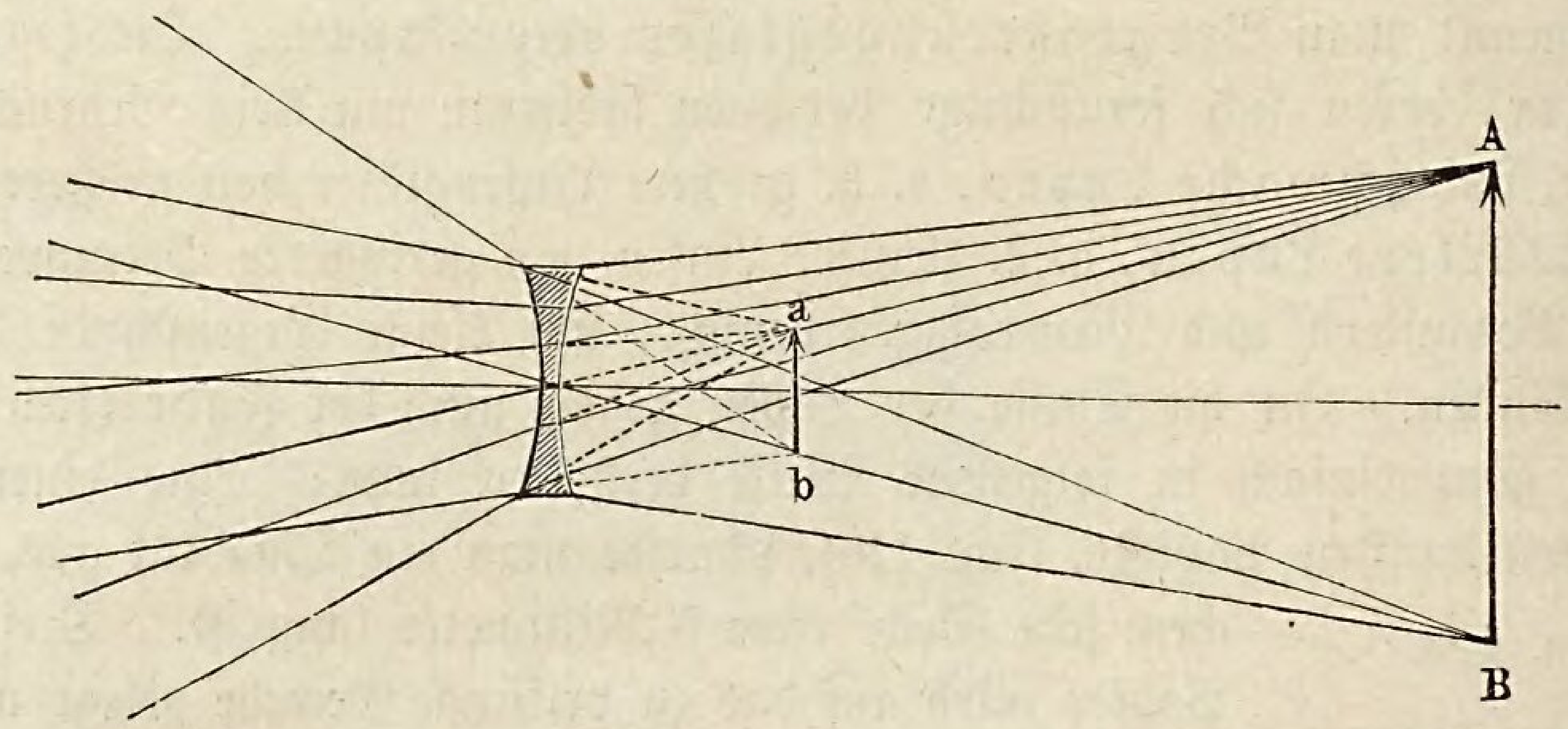
Fig. 195.



näher *B* an die Linse heranrückt, desto mehr nähert sich derselben auch sein Bild *A*.

Was von der Hauptaxe einer Hohllinse gilt, gilt auch für jede Nebenaxe. Die von dem außerhalb der Hauptaxe liegenden Punkte *A*, Fig. 196, auf die

Fig. 196.



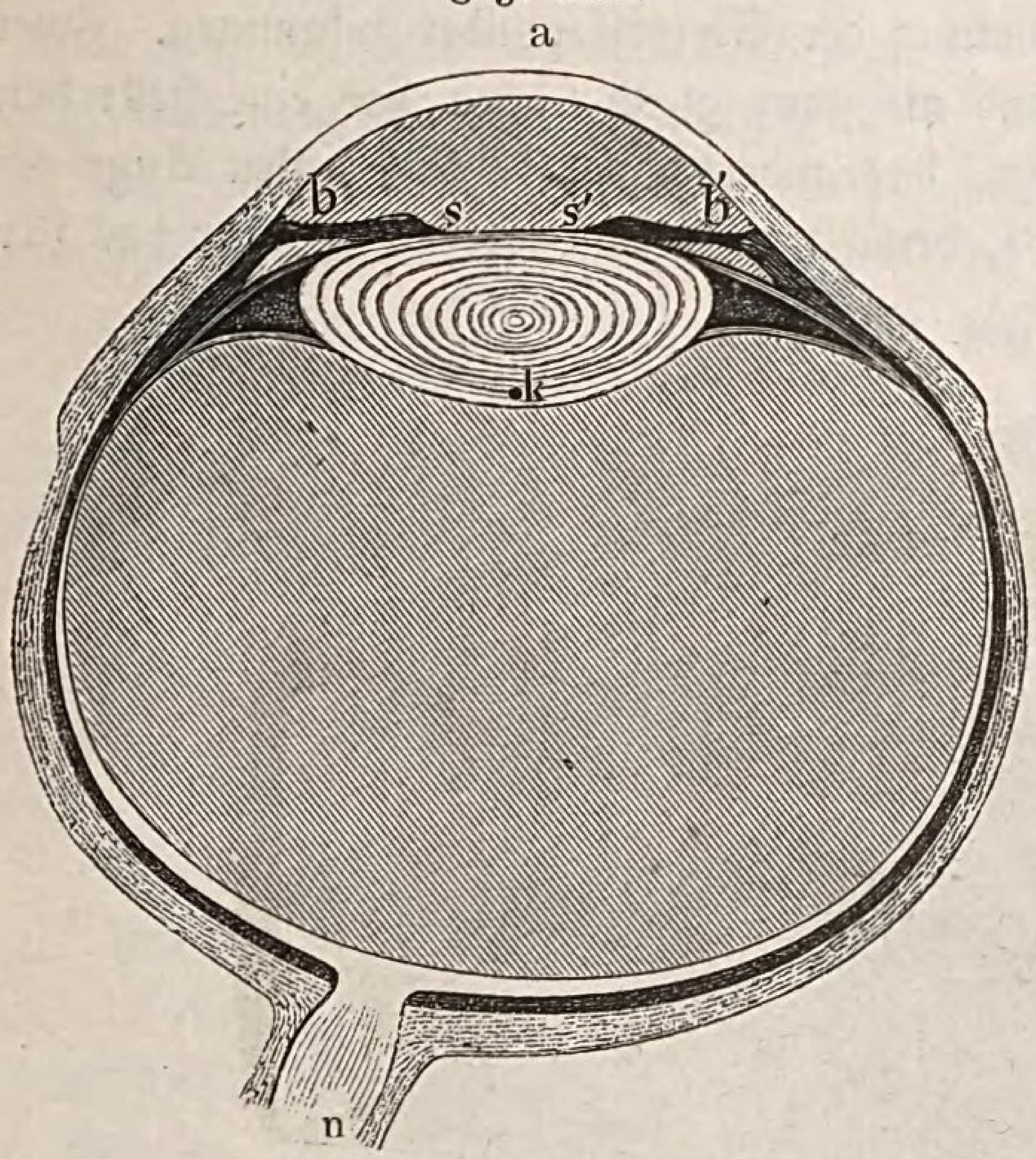
Linse fallenden Strahlen fahren nach ihrem Durchgange durch dieselbe so auseinander, als ob sie von *a* kämen, einem Punkte, welcher innerhalb der Zerstreuungsweite auf der geraden Linie liegt, welche man von *A* durch die Mitte der Linse gezogen denken kann. Eben so ist *b* das Bild von *B*. Die Hohllinse giebt von jedem hinter ihr liegenden Gegenstand *AB* ein verkleinertes aufrechtes Bild *ab*, welches innerhalb der Zerstreuungsweite liegt. Die Bilder einer Hohllinse sind niemals Sammelbilder, sie können niemals auf einem Schirm aufgefangen werden.

Bei einiger Aufmerksamkeit läßt es sich leicht übersehen, daß die Bilder der Hohllinsen sich gerade so verhalten wie die Bilder der Convexspiegel, während andererseits die Convexlinsen in ihrem Verhalten den Hohlspiegeln entsprechen.

80 **Das Auge** des Menschen und aller Wirbelthiere ist seinem ganzen Wesen nach einer camera obscura zu vergleichen. Der ganze Augapfel, Fig. 197, ist von einer festen, harten Haut eingeschlossen, welche nur an der vordersten Stelle bei *a* durchsichtig und hier auch etwas stärker gewölbt ist (Hornhaut).

Hinter der Hornhaut befindet sich ein undurchsichtiger Schirm bb', die **Regenbogenhaut** oder **Iris**, mit einer kreisförmigen Oeffnung ss' (die **Pupille**), durch welche allein die Lichtstrahlen in das Innere des Auges eindringen können. Dicht hinter der Pupille befindet sich die **Krystalllinse** k. Der Zwischenraum zwischen der Linse und der Hornhaut ist mit einer wässerigen, der Zwischenraum zwischen der Linse und der Rückwand des Augapfels ist mit einer gallertartigen Flüssigkeit (**Glasfeuchtigkeit**) ausgefüllt.

Fig. 197.

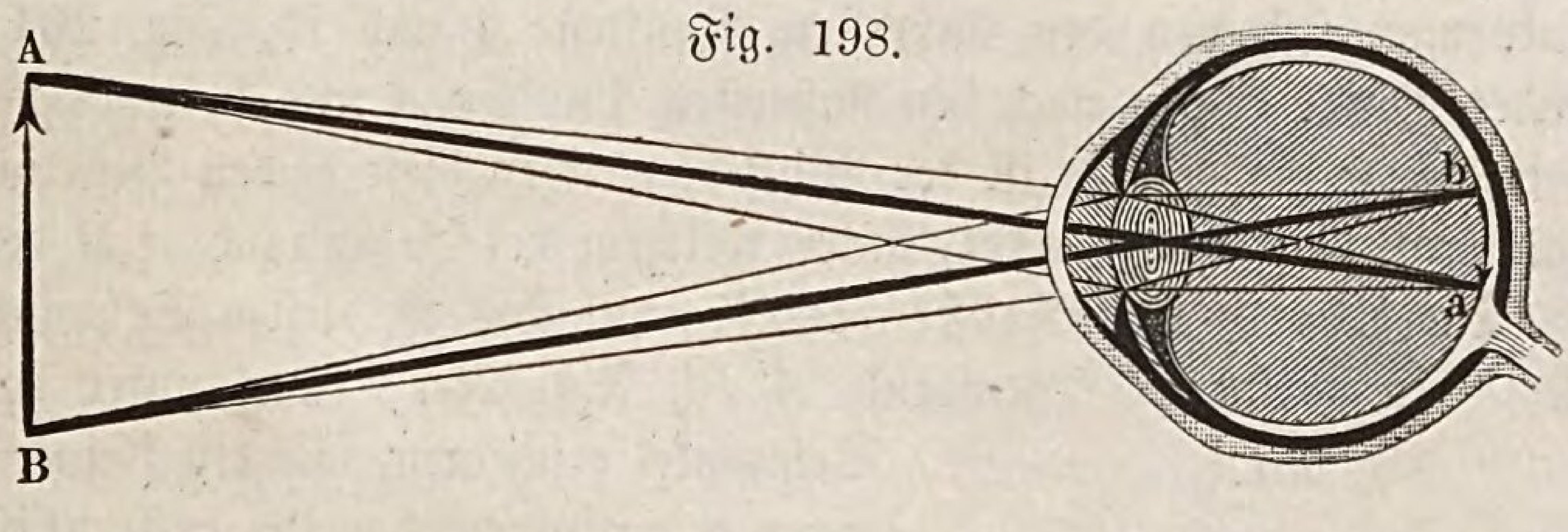


Die Rückwand des Augapfels ist innen mit der **Netzhaut** überkleidet, welche eine Ausbreitung des **optischen Nervs** n ist, welcher die Netzhaut mit dem Gehirn in Verbindung setzt. Auf dieser Netzhaut entsteht ein verkehrtes verkleinertes Bild der äußeren Gegenstände, wie dies Fig. 198 erläutert.

Man kann nur dann einen Gegenstand deutlich sehen, wenn sein Bild auf der Netzhaut scharf ist.

Es giebt für jedes Auge eine kleinste Entfernung, über welche hinaus man ihm den Gegenstand nicht nähern darf, wenn man ihn noch deutlich sehen will.

Fig. 198.



Es ist dies die **Weite des deutlichen Sehens**, welche bei Kurzsichtigen kleiner, bei Fernsichtigen **größer** ist als 3 Decimeter.

Jeder auf der Netzhaut gemachte Lichteindruck wirkt noch eine Zeitlang nach; daher kommt es, daß eine im Kreis geschwungene glühende Kohle als ein ununterbrochener feuriger Ring erscheint, daß man die einzelnen Sectoren einer abwechselnd schwarz und weiß bemalten, rasch um ihren Mittelpunkt rotirenden Scheibe, Fig. 199, nicht mehr unterscheiden kann.

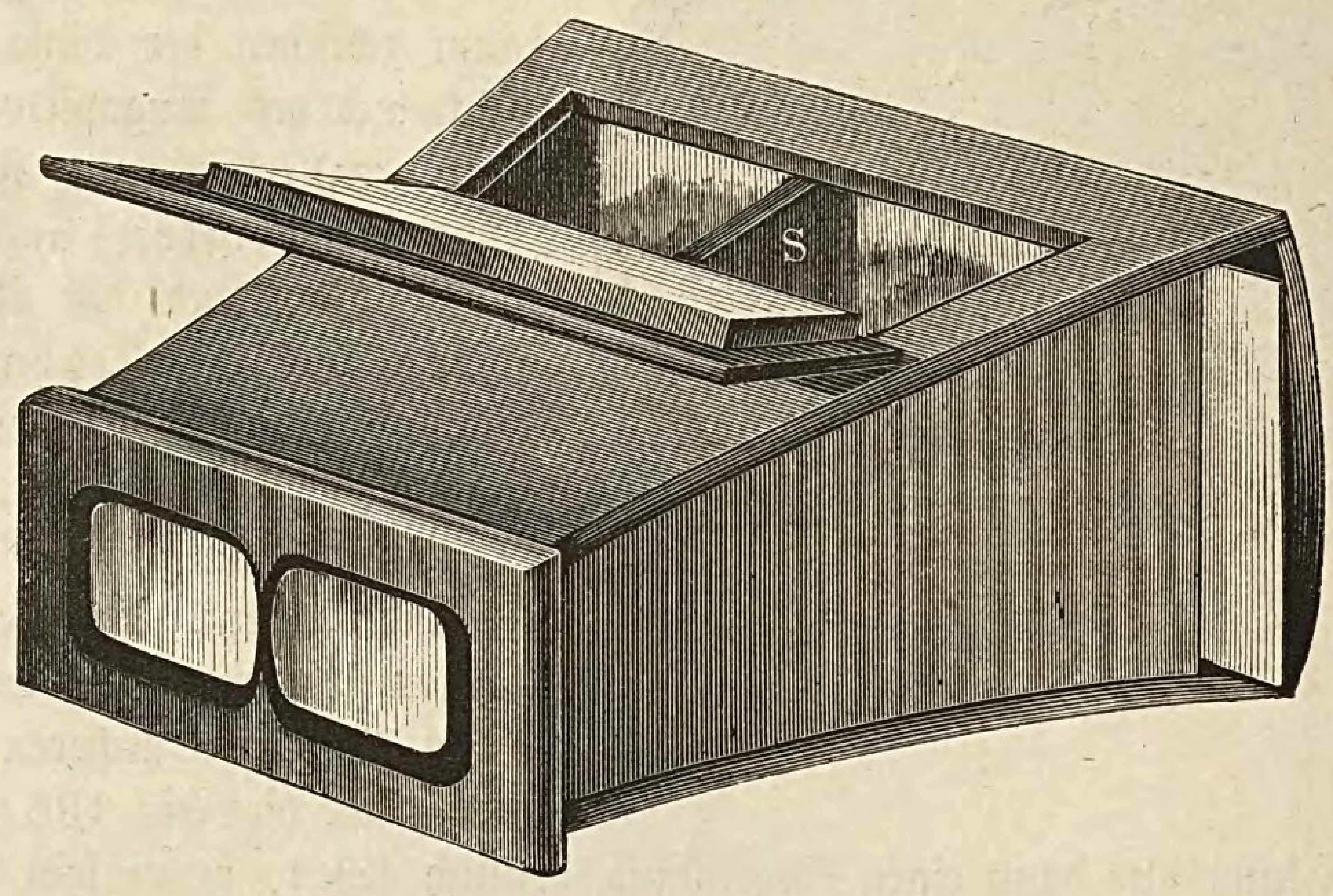
Fig. 199.



Das Sehen mit **zwei Augen** trägt wesentlich zur richtigeren Schätzung der Entfernung näherer Gegenstände bei. Von einem nicht gar weit entfernten Gegenstande giebt uns

das rechte Auge eine etwas andere Ansicht als das linke; durch die gegenseitige Ergänzung dieser beiden Bilder erhalten wir aber erst einen wahrhaft körperlichen Eindruck des Gegenstandes, wie ihn ein einzelnes Bild nie geben kann. Damit hängt nun auch die überraschende Wirkung der Stereoskopbilder zusammen. Zwei zusammengehörige Stereoskopbilder sind nie ganz gleich, denn das eine stellt den Gegenstand dar, wie er dem rechten, das andere, wie er dem linken Auge erscheint. Das Stereoskop, Fig. 200, bewirkt nun, daß jedes Auge nur das für

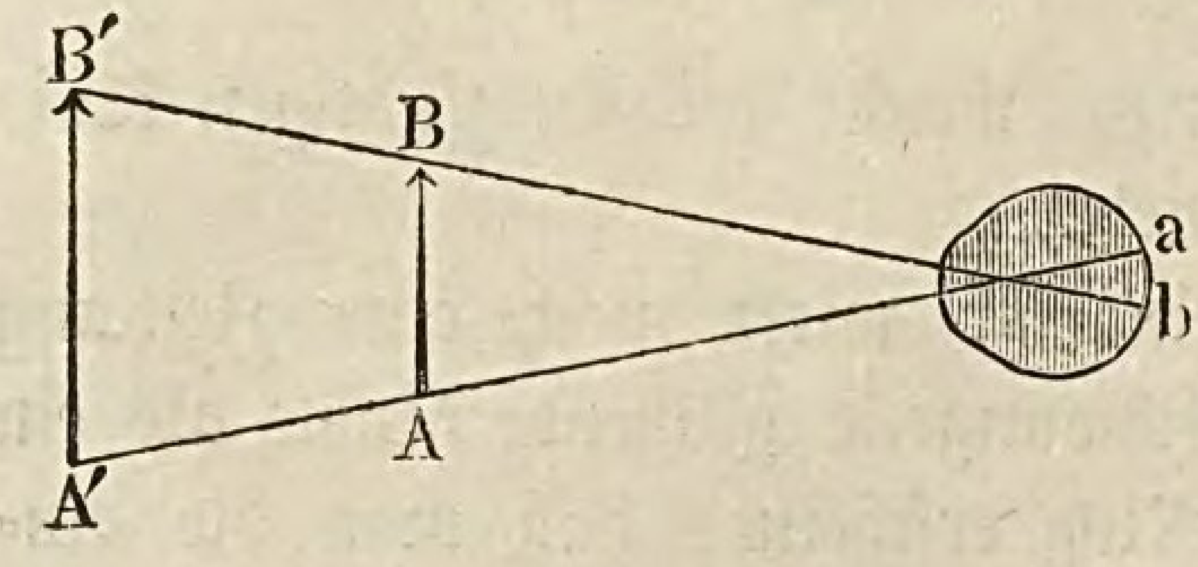
Fig. 200.



es bestimmte Bild und zwar in solcher Richtung sehen kann, daß sich die beiden Bilder zu einem Totaleindruck vereinigen.

Denkt man sich von den äußersten Punkten A und B, Fig. 201, eines Gegenstandes gerade Linien nach den äußersten Punkten a und b seines Netzhautbildchens im Auge gezogen, so ist der Winkel, welchen diese beiden Visirlinien mit einander machen, der Sehwinkel, unter welchem der Gegenstand AB dem Auge erscheint. Die scheinbare Größe des Gegenstandes ist diesem Sehwinkel proportional. Ein größerer Gegenstand $A'B'$, Fig. 201, kann unter demselben Sehwinkel erscheinen, wie ein kleinerer AB, wenn er entsprechend weiter entfernt ist.

Fig. 201.



Die scheinbare Größe eines Gegenstandes wächst, wenn man den Gegenstand dem Auge nähert; um einen kleinen Gegenstand recht groß zu sehen, muß man ihn also dem Auge möglichst nähern. Da man aber den Gegenstand nicht innerhalb der Sehweite des Auges bringen darf, wenn man ihn noch deutlich sehen will, so ist dadurch einer fernern Annäherung und Vergrößerung des Sehwinkels eine Grenze gesetzt. Wenn man aber einen Gegenstand durch die Lupe betrachtet, so hält man die Linse und den Gegenstand so vor das Auge, daß das Bild ab, Fig. 192, S. 160, in der Weite des deutlichen Sehens, der Gegenstand selber also dem Auge viel näher liegt. Sieht man das Bild durch die Lupe

deutlich, so wird es doch sogleich wieder undeutlich, wenn man, ohne sonst etwas zu ändern, nur die Linse vor dem Auge wegzieht.

Das Sehen äußerer Gegenstände ist also auf das Zustandekommen ihres Bildes auf der Netzhaut zurückgeführt; wie aber ein Netzhautreiz zur Empfindung wird, wie wir uns dieser Empfindung bewußt werden, ist eine Frage, die jedenfalls außerhalb der Naturforschung liegt. Man kann sich darüber wohl mancherlei Vorstellungen machen, aber nie werden dieselben die Klarheit und Sicherheit physikalischer Gesetze erlangen.

Leider kommt es nicht gar selten vor, daß die Augen ihren Zweck in mehr oder minder mangelhafter Weise erfüllen, und dann liegt der Fehler entweder in dem optischen Theil des Auges, d. h. in den durchsichtigen Theilen desselben, welche ein Bild der äußeren Gegenstände auf der Netzhaut entwerfen sollen, oder das Uebel liegt in einem krankhaften Zustande der Netzhaut und des optischen Nerven. In ersterem Falle läßt sich meist durch optische Mittel helfen, in letzterem Falle ist nur durch medicinische Behandlung eine Besserung zu erzielen.

Zu den häufigsten optischen Fehlern des Auges gehört die Kurzsichtigkeit und die Fernsichtigkeit. Im ersteren Falle ist die Weite des deutlichen Sehens bedeutend geringer als 3 Decimeter, das scharfe Bild etwas entfernter Gegenstände entsteht schon vor der Netzhaut, für die brechende Kraft des Auges ist eben die Netzhaut zu weit von der Linse entfernt. In diesem Falle kann man dadurch dem Fehler abhelfen, daß man Hohllinsen von entsprechender Zerstreuungsweite vor das Auge setzt.

Für fernsichtige Augen liegt die Netzhaut zu nahe bei der Linse, die von einem etwas näheren Punkte der Außenwelt in das Auge eintretenden Strahlen laufen nach einem Punkte zusammen, der hinter der Netzhaut liegt. Hier kann durch Anwendung von Sammellinsen geholfen werden.

Solche Gestelle, welche die zur Correction der Kurzsichtigkeit oder Fernsichtigkeit nöthigen Linsen enthalten, werden Brillen genannt. Die Brillengläser werden gewöhnlich mit Nummern bezeichnet, welche ihre Brenn- oder Zerstreuungsweite angeben. So ist z. B. eine Sammellinse Nro. 8 eine solche, deren Brennweite 8 Zoll beträgt, während eine Hohllinse Nro. 6 eine Zerstreuungsweite von 6 Zoll hat. Leider ist der Maßstab, welchen verschiedene Fabriken bei der Bezeichnung ihrer Linsen in Anwendung bringen, nicht immer der gleiche. Es wäre zu wünschen, daß auch bei Numerirung der Brillengläser das Metermaß allgemein eingeführt würde.

Kurzsichtige Personen können, vorausgesetzt, daß das Auge sonst gesund ist, ohne Brillengläser sehr gut lesen, sie brauchen die Brille nur, um in die Ferne zu sehen, während umgekehrt fernsichtige Personen sich der Brille vorzugsweise zum Lesen bedienen.

Die Brillengläser werden meist so gewählt, daß mit Hülfe derselben die Weite des deutlichen Sehens auf 3 Decimeter gebracht wird.

Das Mikroskop. Will man irgend welche Gegenstände unter größerem Gesichtswinkel sehen, als es dem bloßen Auge etwa mit Hülfe von Brillengläsern möglich ist, so muß man weitere optische Instrumente zu Hülfe nehmen, 81

welche man **Mikroskope** nennt, wenn sie dazu dienen, ganz kleine Gegenstände in nächster Nähe vergrößert zu sehen, oder **Fernrohre**, wenn sie uns entferntere Gegenstände unter vergrößertem Gesichtswinkel zeigen.

Das **einfache Mikroskop** haben wir bereits unter dem Namen der Lupe kennen gelernt; mit der Lupe läßt sich freilich schon eine 100fache Vergrößerung erzielen, wenn nur ihre Brennweite klein genug ist, allein bei stärkerer Vergrößerung ist doch der Gebrauch derselben höchst unbequem, so daß man in solchen Fällen zum **zusammengesetzten Mikroskop** greift.

Das zusammengesetzte Mikroskop besteht im Wesentlichen aus zwei Sammellinsen, dem **Objectiv** *ab*, Fig. 202, und dem **Ocular** *cd*. Der Brennpunkt der Objectivlinse *ab* ist durch einen kleinen schwarzen Punkt unterhalb *ab*

Fig. 202.

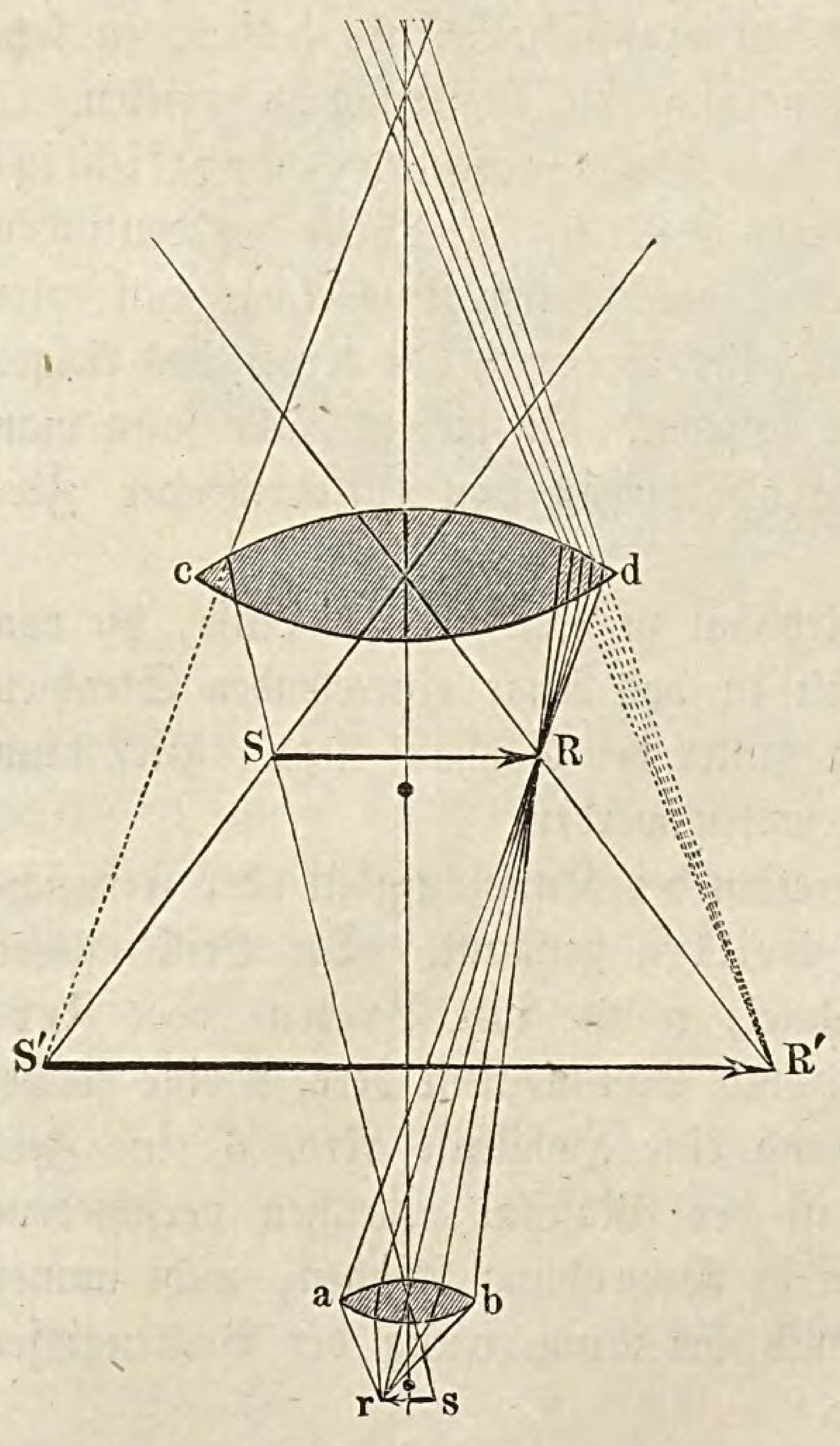
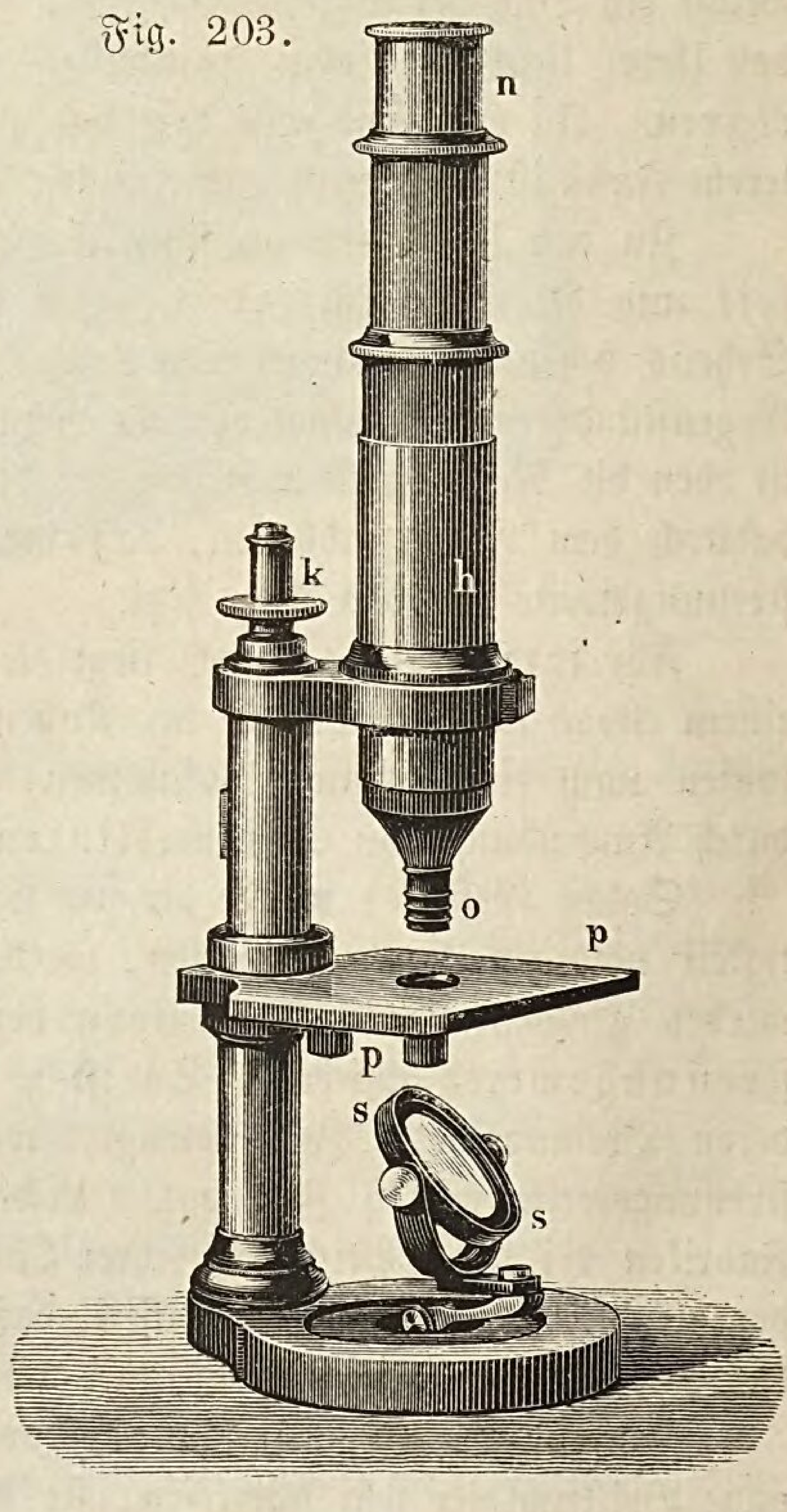


Fig. 203.



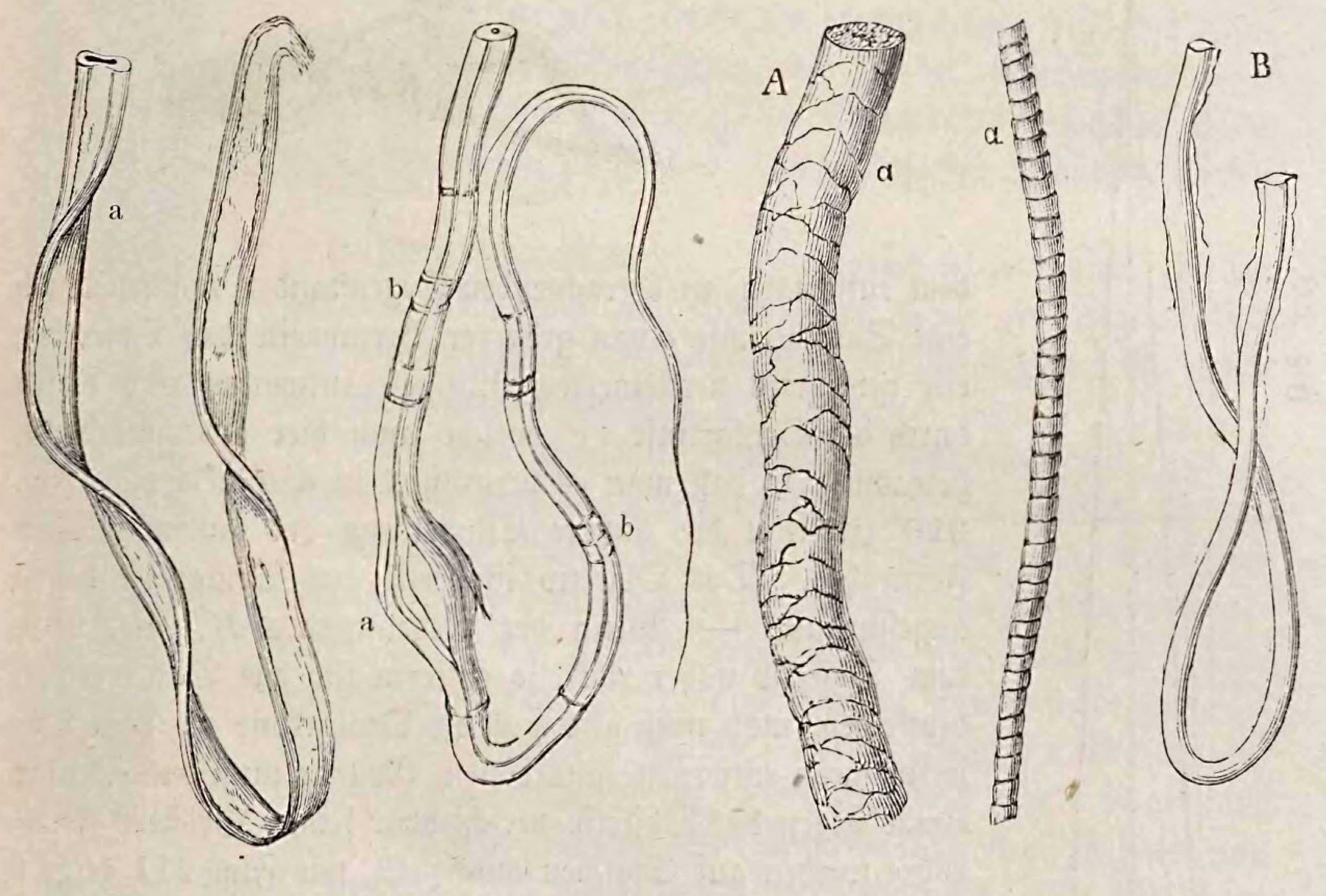
bezeichnet, der Gegenstand *rs* befindet sich noch jenseits dieses Brennpunktes, d. h. er ist weiter von der Linse entfernt als dieser; die Objectivlinse *ab* erzeugt also ein **verkehrtes vergrößertes Sammelbild** des Gegenstandes in *RS* und dieses Sammelbild *RS* wird nun durch die **Ocularlinse** *cd* betrachtet, welche hier als Lupe dient.

Der kleine schwarze Punkt unter *RS* ist der Brennpunkt der Ocularlinse *cd*, das Sammelbild *RS* liegt also noch innerhalb ihrer Brennweite. Durch die Lupe *cd* sieht man das vergrößerte Bild von *RS* in *R′S′*.

Fig. 202 dient nun zur Erläuterung des optischen Vorganges im Mikroskop, es ist aus ihr durchaus nicht zu erfahren, wie die beiden Linsen zu einem Instrument vereinigt sind. Die äußere Construction des Mikroskops wird durch Fig. 203 erläutert. Die Objectivlinse *o* ist an das untere Ende eines Metallrohrs angeschraubt, während das Ocular am oberen Ende desselben bei *n* eingesteckt wird. Das Object wird auf das in der Mitte durchbrochene Tischlein *pp* gelegt und von unten her durch den Spiegel *ss* erleuchtet.

Neben seiner hohen wissenschaftlichen Bedeutung hat das Mikroskop auch eine praktische Wichtigkeit und damit auch eine große Verbreitung erlangt, wodurch es möglich wurde, recht gute Mikroskope zu verhältnißmäßig billigen Preisen zu liefern. Das Mikroskop dient u. a. zur Untersuchung des Fleisches auf Trichinen, es dient, um verschiedene Gespinnstfasern von einander zu unterscheiden 2c. So zeigt z. B. Fig. 204 das vergrößerte Bild einer Baumwollenfaser, welche aus einer gleichmäßigen Röhre ohne Knoten und Querwände besteht, deren Wände aber so dünn sind, daß sie zusammenfallen, wodurch die Röhre ein flaches, gewundenes, bandartiges Ansehen erlangt. Dagegegen erscheinen die Leinenfasern (Hanf- oder Flachs) als gerade Röhren, Fig. 205, mit so dicken

Fig. 204. Fig. 205. Fig. 206. Fig. 207. Fig. 208.



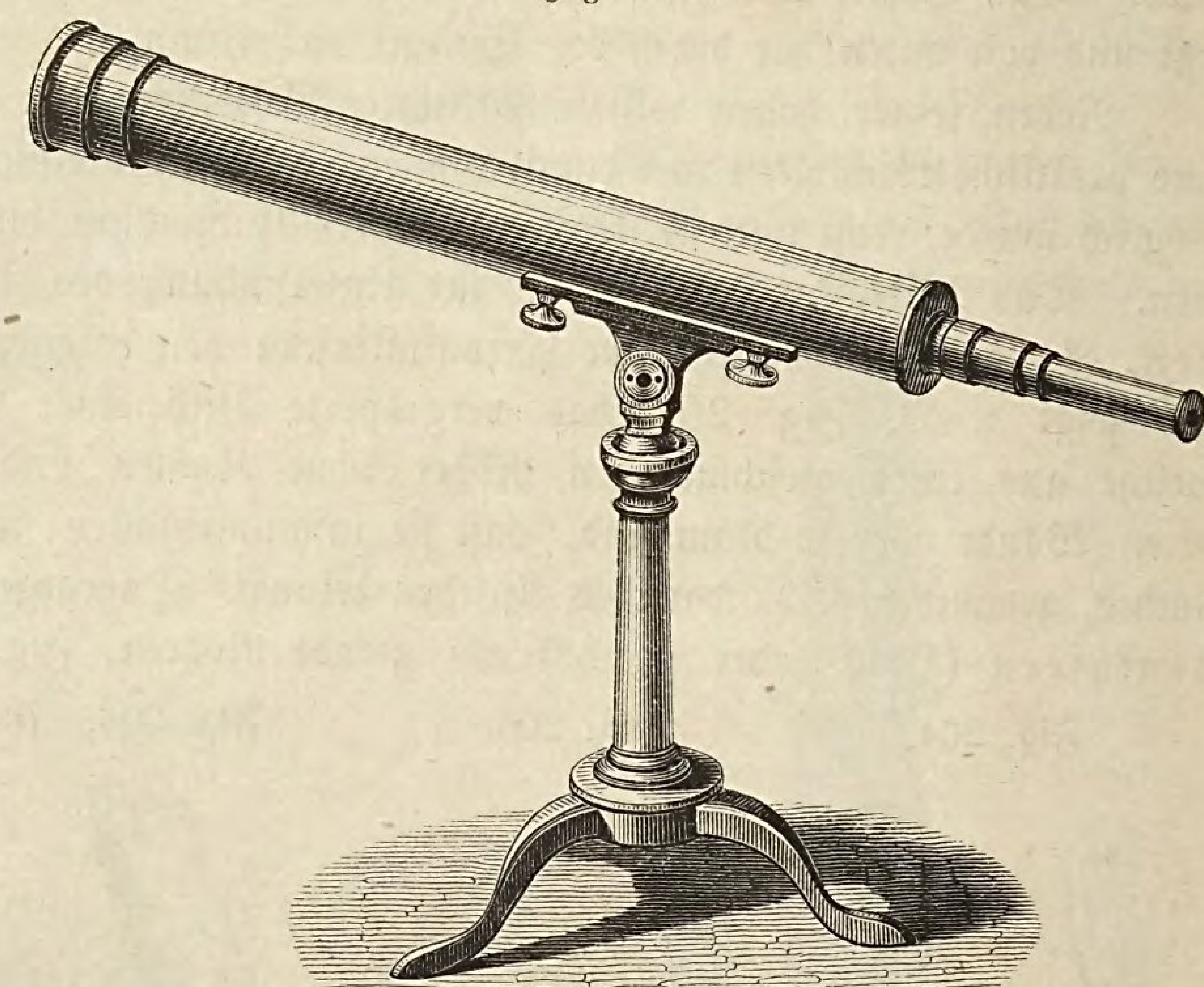
Wänden, daß sie nicht einsinken oder platt werden, sondern eine egale Walzenform zeigen. Bei den zu Gespinnst oder Gewebe verarbeiteten Leinenfasern bemerkt man außerdem noch geborstene Stellen, *a*, oder Querstreifen, *b*, welche durch starken Druck oder durch Quetschungen entstanden sind.

Wolle besteht aus hohlen Röhrchen, welche mit feinen schuppigen Ansätzen umgeben sind. Fig. 207 stellt das feine Wollhaar eines Merinoschafes, Fig. 206 aber das gröbere eines gewöhnlichen Landschafes unter gleicher Vergrößerung dar. Fig. 208 giebt das vergrößerte Bild eines Seidenfadens, welcher glatt, rund

und ohne Höhlung ist; hier und da hängt ihm jedoch eine eiweißähnliche Substanz an, welche ihn unegal macht.

82 **Das Fernrohr.** Die verständlichste Form desselben ist das astronomische Fernrohr, dessen Wirkung durch die Fig. 209 erläutert wird. Von

Fig. 211.



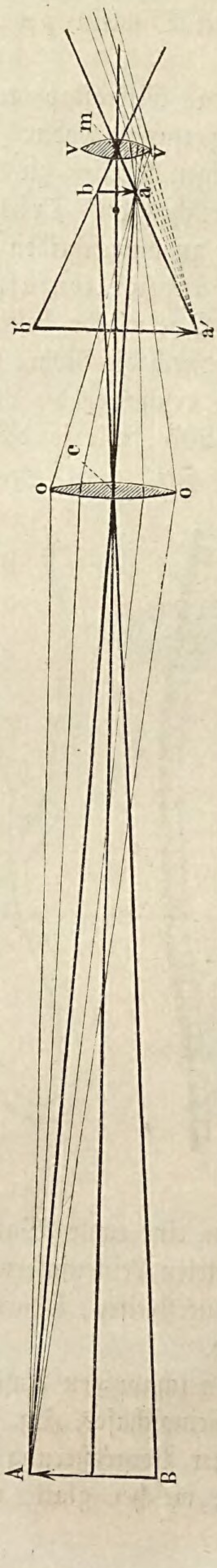


Fig. 209.

dem entfernten, zu betrachtenden Gegenstand *A B* wird durch eine Sammellinse *o* von größerer Brennweite (das Objectiv), ein verkehrtes verkleinertes Bild *a b* entworfen und dieses durch die Ocularlinse *v v*, welche auch hier als Lupe dient, betrachtet, so daß man es vergrößert in *a' b'* erblickt. Fig. 210 erläutert die äußere Einrichtung des astronomischen Fernrohrs. Das Objectiv ist bei *k*, das Ocular ist bei *o* angeschraubt. — Wenn der Gegenstand *A B*, Fig. 209, dem Objectiv näher rückt, so entfernt sich das Bild *a b* von demselben, man muß also auch die Ocularlinse *v v* vom Objectiv mehr entfernen; aus diesem Grunde muß das Ocular etwas gegen das Objectiv verschiebbar sein. Größere Fernrohre werden auf Stativen aufgestellt, wie Fig. 211 zeigt.

Das astronomische Fernrohr giebt ein verkehrtes Bild der Gegenstände, was bei Betrachtung irdischer Objecte, wie Landschaften, sehr störend ist. Zu diesem Zwecke eignen sich deshalb besser das holländische oder Galilei'sche Fernrohr und das Erdfernrohr. Bei dem holländischen Fernrohr wird das Ocular durch eine Hohllinse, Fig. 212, gebildet, deren Wirkungsweise hier nicht näher betrachtet werden kann. In diese Classe von Fernrohren gehören die

gewöhnlichen Theaterperspective, welche nur eine geringe (2= bis 4malige) Vergrößerung geben.

Fig. 210.

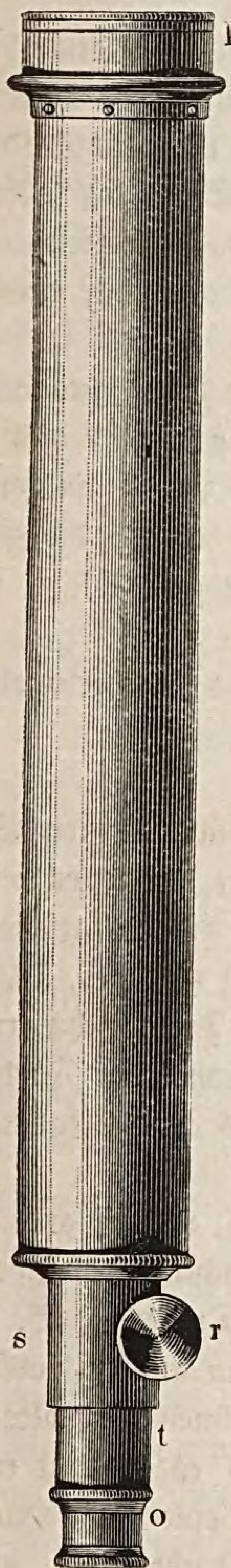


Fig. 213.

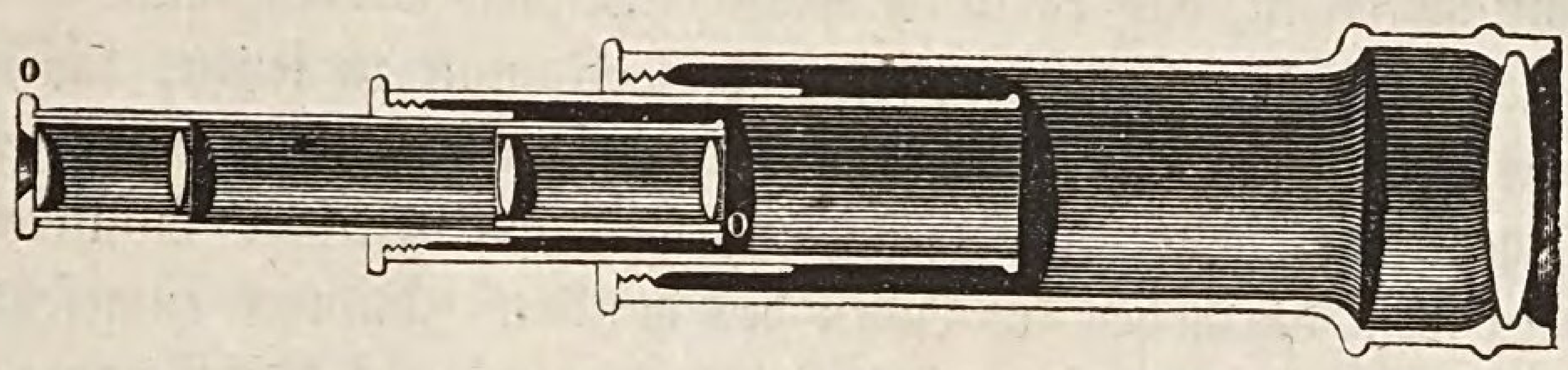
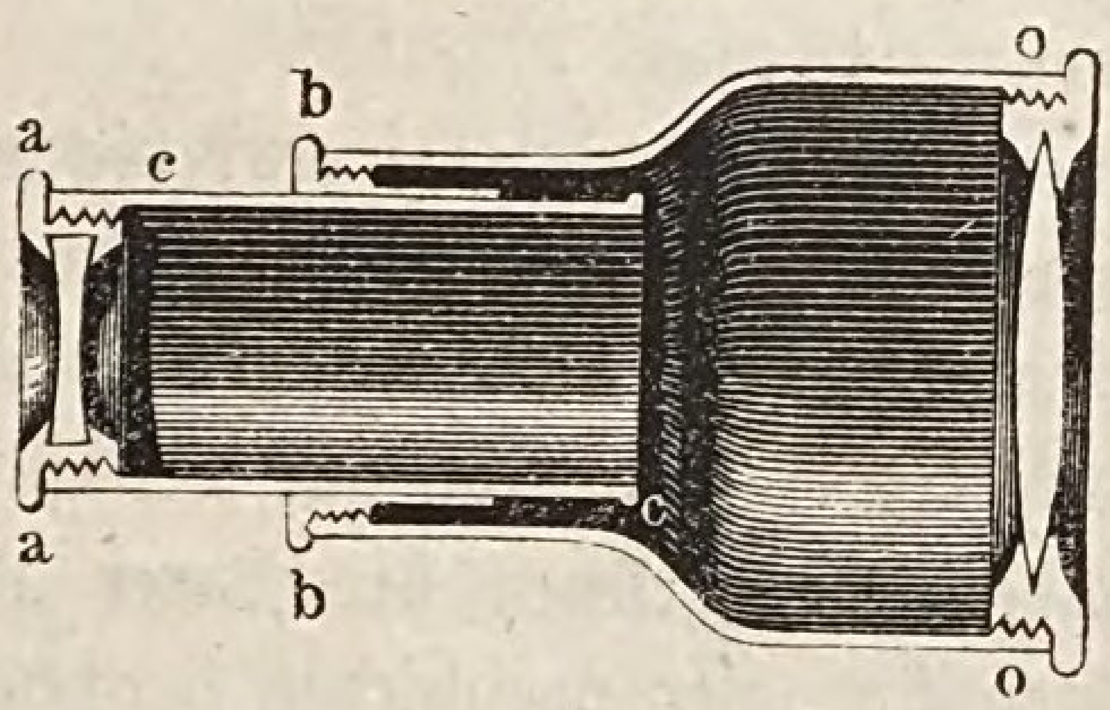


Fig. 212.



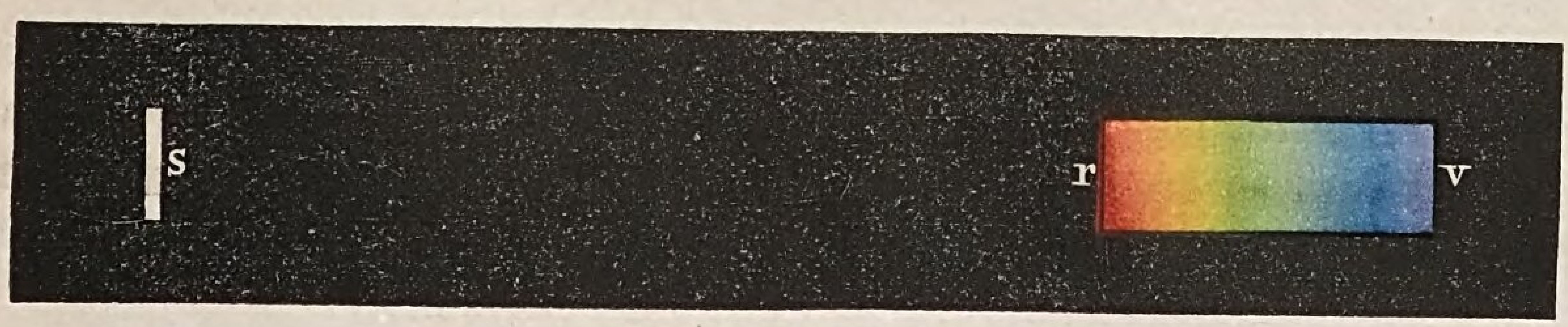
Bei dem Erdfernrohr ist das als Lupe wirkende Ocular des astronomischen Fernrohrs durch ein schwach wirkendes Mikroskop ersetzt, welches das verkehrte Bild des Objectivs wieder umkehrt, also ein aufrechtes Bild des Gegenstandes giebt.

Die verbreitetste Form des Erdfernrohrs sind die allgemein bekannten Zugfernrohre, deren Einrichtung durch Fig. 213 erläutert wird. Die Ocularröhre enthält 4 Sammellinsen, welche zusammen wie ein schwaches Mikroskop wirken.

Das Spectrum. Wir haben bereits oben gesehen, 83
daß die Ablenkung der Lichtstrahlen durch ein Prisma stets von einer Färbung des abgelenkten Bildes begleitet ist, welche wir nun etwas näher betrachten wollen.

Um das abgelenkte Farbenbild recht rein und schön zu sehen, stelle man in einem dunklen Zimmer vor die Kerzenflamme einen Schirm von Blech oder starkem, nicht durchscheinendem Papier, in welchem ein Spalt von ungefähr 2 Centimeter Höhe und 2 Millimeter Breite angebracht ist. Der vertical gerade vor der Flamme stehende Spalt werde nun aus einer Entfernung von $1/2$ bis 1 Meter durch ein Prisma betrachtet, welches in gleicher Höhe mit dem Spalt so gehalten wird, daß seine Kanten dem Spalt parallel sind, so sieht man nach der durch Fig. 179 auf S. 153 angedeuteten Weise statt des hellen Spaltes *s*, Fig. 214, sein in die Breite gezogenes Farbenbild *rv*, welches den Namen des Spectrums führt und dessen Farben allmälig in einander übergehend stets in

Fig. 214.



gleicher Ordnung auf einander folgen. An der der Lichtquelle s zugewandten Seite ist die Farbe des Spectrums Roth, darauf folgt Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo (dunkelblau) und endlich Violett, welches aber meistens so lichtschwach ist, daß es kaum wahrgenommen werden kann.

Statt den Spalt vor eine Kerzenflamme zu setzen, kann man ihn auch in dem Laden eines verfinsterten Zimmers anbringen, so daß er, durch das äußere Tageslicht erhellt, direct als ein weißer senkrechter Lichtstreifen erscheint; oder man kann durch den im Laden des dunklen Zimmers eingesetzten Spalt ein Bündel Sonnenstrahlen in dasselbe eintreten und auf das Prisma auffallen lassen, so daß das Spectrum lichtstark genug wird, um es auf der Wand oder auf einem Blatt weißen Papiers auffangen zu können.

Mag man nun das Spectrum auf die eine oder die andere Weise beobachten, so zeigen doch die eben besprochenen Versuche, daß das weiße Licht durch Brechung in verschiedenfarbige Strahlen zerlegt wird, welche ungleich stark abgelenkt werden; die rothen Strahlen sind am wenigsten brechbar; die gelben sind brechbarer als die rothen, die grünen brechbarer als die gelben u. s. w. Die verschiedenfarbigen Strahlen sind also verschieden brechbar.

Das weiße Licht ist demnach kein einfaches, sondern es ist aus den verschiedenen Farben des Spectrums zusammengesetzt.

84 **Farbige Körper.** Ein weißer Körper, z. B. ein Blatt weißen Papiers, ein Stück weißen Leinens u. s. w., erscheint, von der Sonne beschienen oder durch das gewöhnliche Tageslicht erleuchtet, weiß, weil er alle im auffallenden weißen Lichte enthaltenen farbigen Lichtstrahlen gleich gut zerstreut (siehe S. 143). Schwarze Körper dagegen, wie z. B. Kienruß, schwarzes Tuch, schwarzer Sammet u. s. w. sind solche Körper, welche das auffallende Licht aller Farben gar nicht oder doch nur sehr wenig zerstreuen, also fast alles auf sie fallende Licht gleichsam verschlucken (absorbiren).

Ein Körper ist farbig, wie z. B. rothes oder blaues Tuch, rothes, grünes, blaues Papier u. s. w., wenn er das Licht gewisser Farben verschluckt, während er die Strahlen anderer Farben zerstreut. Ein Stück rothen Tuches z. B. ist für grüne und blaue Strahlen so gut wie schwarz. Läßt man auf ein solches Stück Tuch nur solches Licht fallen, welches durch eine Platte grünen oder blauen Glases gegangen ist, so wird es fast schwarz erscheinen, während es brillant roth erscheint, wenn man es durch das Licht erleuchtet, welches durch eine rothe Glasplatte gegangen ist. Dieses Tuch zerstreut also das auffallende rothe Licht, aber nicht das auffallende grüne und blaue.

Ein grüner Körper zerstreut von dem auffallenden weißen Lichte vorzugsweise nur die auffallenden grünen Strahlen, während er die auffallenden gelben, rothen, blauen Strahlen großentheils verschluckt.

85 **Die Photographie** ist so allgemein bekannt, daß dieselbe auch in einem elementaren Werke über Physik besprochen und wenigstens der Hauptsache nach verständlich gemacht werden muß; sie beruht darauf, daß das Licht chemische Wirkungen hervorzubringen im Stande ist.

Zu den bekanntesten und für die Photographie besonders wichtigen chemischen Wirkungen des Lichtes gehört zunächst die Schwärzung des Chlorsilbers, welche sich am bequemsten an einem Blatt Chlorsilberpapier zeigen läßt. Es ist dies ein Blatt Papier, welches auf der einen, glänzend gemachten Seite mit einer Schicht von Chlorsilber getränkt ist; man kann solches Chlorsilberpapier ganz billig bei jedem Photographen erhalten, muß es aber bis zum Gebrauch vor dem Einfluß der Lichtstrahlen schützen, was am einfachsten dadurch geschieht, daß man es zwischen die Blätter eines Buches legt. Um nun die Wirkung des Lichtes auf ein solches Blatt zu zeigen, decke man die eine Hälfte desselben mit einem Blatt undurchsichtigen Papiers zu und setze die andere Hälfte dem Tageslicht oder noch besser den Sonnenstrahlen aus. — Alsbald wird man beobachten, daß die freigelassene Hälfte des Chlorsilberpapiers dunkler und dunkler wird, bis sie endlich nach 10 bis 20 Minuten fast ganz schwarz geworden ist, während die vor dem Einfluß der Lichtstrahlen geschützte Hälfte ganz weiß geblieben ist.

Die Schwärzung des Chlorsilbers ist einfach die Folge einer chemischen Zersetzung desselben, indem Chlor entweicht und das Silber, in feinvertheiltem Zustande schwarz erscheinend, zurückbleibt.

Noch empfindlicher gegen die Wirkungen des Lichtes als Chlorsilber ist das Jodsilber, welches deshalb auch eine große Rolle in der Photographie spielt.

An die Stelle, an welcher das scharfe Bild irgend eines Gegenstandes in der Camera obscura erscheint, wird ein Schieber *g*, Fig. 189, S. 159, eingeschoben, auf welchem eine Glasplatte befestigt ist, die mit einer von Jodsilber imprägnirten Collodiumschicht überzogen ist. Nachdem das Licht eine Zeit lang auf die Collodiumschicht eingewirkt hat, ist die chemische Zersetzung des Jodsilbers in derselben gleichsam eingeleitet, und wenn nun eine reducirende Flüssigkeit, d. h. eine solche darauf gegossen wird, welche große Verwandtschaft zum Jod hat, so wird durch dieselbe das Jodsilber an den Stellen zersetzt, auf welche das Licht eingewirkt hatte.

An den hellsten Parthien des Bildes wird das Jodsilber ganz zersetzt, sie werden also ganz schwarz; an den halbdunkeln Partien tritt nur eine theilweise Schwärzung ein, an den ganz dunkeln Parthien des Bildes aber bleibt das Jodsilber ganz unzersetzt. Man hat also nun auf der Glasplatte ein negatives Bild, d. h. ein Bild, in welchem die hellen Parthien des Gegenstandes dunkel, die Schattenparthien des Gegenstandes hell erscheinen.

Das so hergestellte negative Bild würde aber nur von kurzer Dauer sein, weil an allen Stellen, wo das Licht gar nicht oder nur schwach eingewirkt hat, noch viel unzersetztes Jodsilber vorhanden ist, welches unter dem Einfluß des Lichtes nach und nach auch noch zersetzt wird, so daß nach einiger Zeit die ganze Collodiumschicht geschwärzt sein würde.

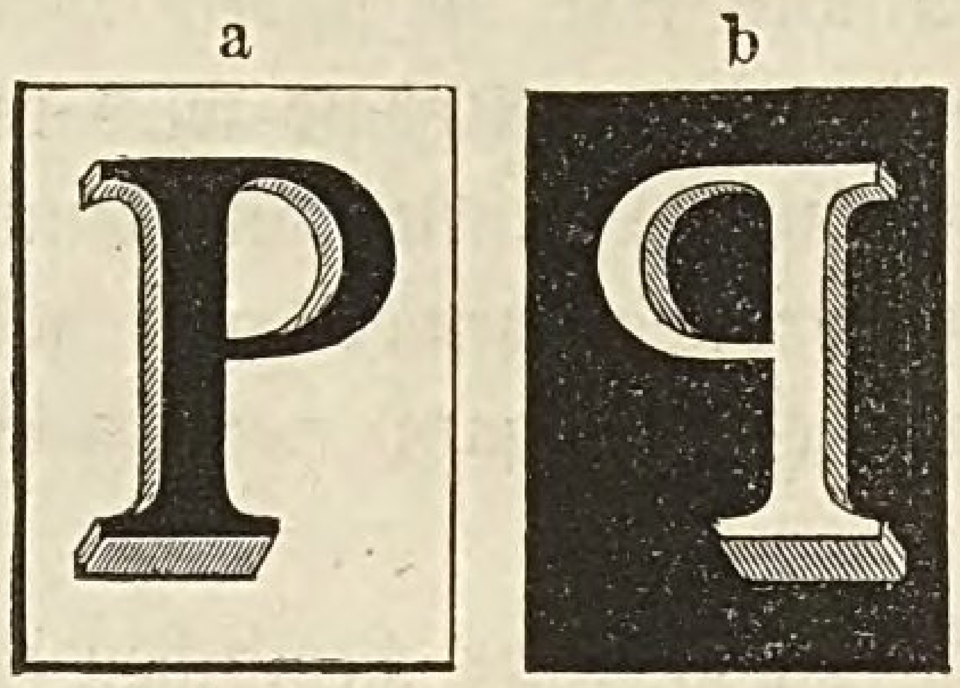
Um dies zu verhindern, muß man sogleich nach Herstellung des negativen Bildes dasselbe dadurch fixiren, daß man alles noch unzersetzte Jodsilber entfernt. Es geschieht dies dadurch, daß man die Platte mit einer Flüssigkeit übergießt,

welche das Jodsilber auflöst, wie z. B. eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron in Wasser.

Nehmen wir z. B. an, der zu photographirende Gegenstand sei ein großer, schwarz auf eine weiße Wand gemalter Buchstabe, so würde man nach dem eben besprochenen Verfahren von demselben das verkehrte negative Bild *b*, Fig. 215, auf der Glasplatte erhalten.

Von diesem negativen Glasbild muß nun aber eine positive Copie gemacht werden, was dadurch geschieht, daß man auf die Collodiumseite des negativen Bildes ein mit Chlorsilber imprägnirtes Papier und auf dieses einige Stücke Tuch oder Filz auflegt, mittelst deren man das Chlorsilberpapier sanft gegen die Glasplatte andrücken kann. Wird die Glasplatte nun gegen das Licht gekehrt, so dringen die Lichtstrahlen durch die hellen Parthien des Negativs auf das Chlorsilberpapier und schwärzen es, während dasselbe weiß bleibt, wo es durch die dunklen Parthien des Negativs vor der Einwirkung der Lichtstrahlen geschützt wird. Die so erhaltene positive Copie *a*, Fig. 215, muß aber ebenfalls durch eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron fixirt werden, denn sonst würde das Bild in kurzer Zeit ganz schwarz werden.

Fig. 215.



Die chemische Wirkungsfähigkeit der verschiedenfarbigen Strahlen ist sehr ungleich. Im Allgemeinen wirken die weniger brechbaren Strahlen, also die rothen, gelben und grünen, am wenigsten, während die brechbareren am stärksten wirken. In photographischen Bildern werden deshalb auch alle rothen, gelben und grünen Gegenstände viel zu dunkel erscheinen, was die malerische Haltung derselben oft wesentlich beeinträchtigt.

68 **Was ist Licht.** Nachdem wir nun die wesentlichsten Gesetze der Lichterscheinungen betrachtet und die wichtigsten optischen Instrumente kennen gelernt haben, müssen wir uns, wenn auch nur ganz kurz, zu der Frage wenden, worin denn eigentlich das Wesen des Lichtes besteht.

Die Grundlage zur Erklärung der Lichterscheinungen bildet die gegenwärtig von allen Physikern angenommene Vibrations- oder Undulationstheorie, nach welcher das Licht durch eine sehr rasche Oscillationsbewegung der Atome des leuchtenden Körpers erzeugt, und durch eine Wellenbewegung des Aethers, einer imponderablen (d. h. der Schwere nicht unterworfenen), höchst feinen und elastischen Substanz, welche alle Himmelsräume und die Zwischenräume zwischen den Atomen der ponderablen (der Schwere unterworfenen) Körper ausfüllt, fortgepflanzt wird.

Es versteht sich von selbst, daß hier von einer eingehenderen Besprechung und Begründung der Lehre von den Lichtwellen keine Rede sein kann, wir müssen uns darauf beschränken, anzuführen, daß die Verschiedenheit der Farben nach derselben der Verschiedenheit der Tonhöhe entspricht. Die Schwingungsgeschwindigkeit der Lichtwellen ist aber den Messungen und Rechnungen der Physiker zufolge eine ganz enorme; danach ergeben sich nämlich in 1 Secunde

477 000 Billionen Schwingungen für rothes Licht,
575 000 „ „ „ grünes Licht,
699 000 „ „ „ violettes Licht,

die Schwingungen des rothen Lichtes sind also die langsamsten, die des violetten sind die schnellsten, das Intervall beider aber entspricht bei weitem noch nicht einer vollen Octav, denn die Schwingungszahl der violetten Strahlen ist noch lange nicht doppelt so groß als die der rothen.

Fünftes Buch.

Die Wärme.

---

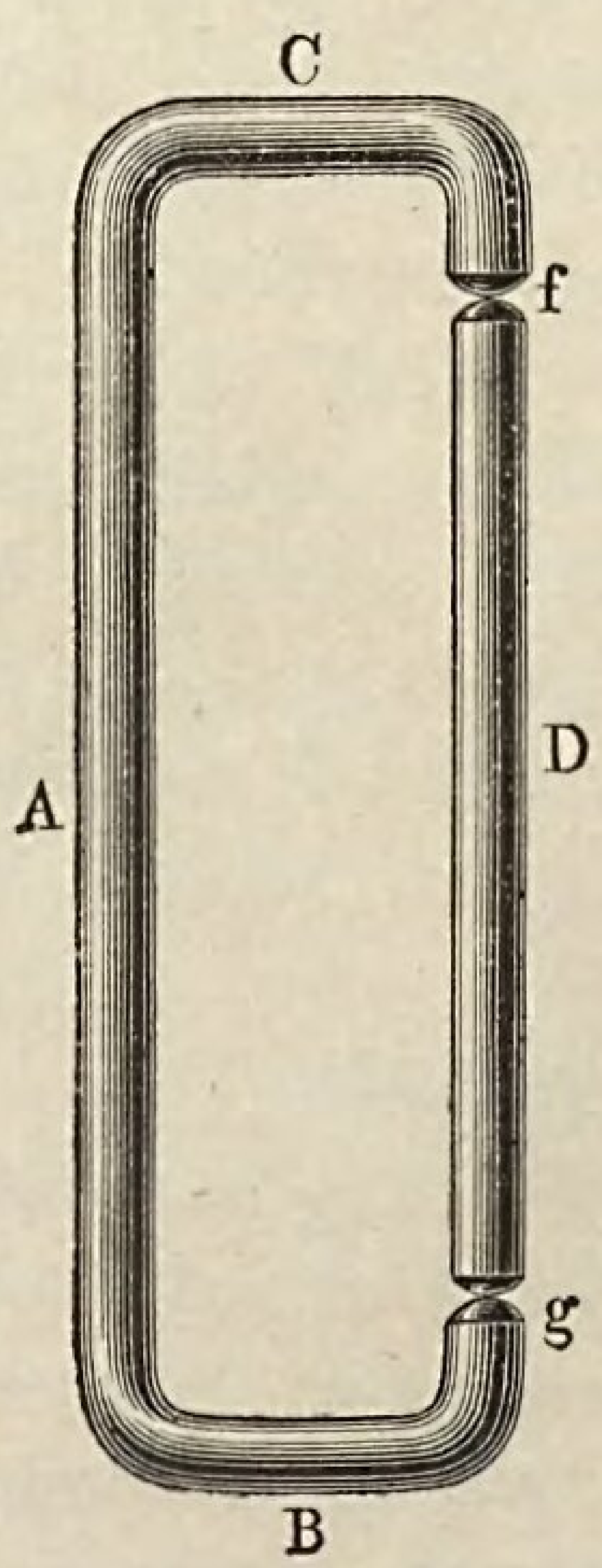
87 **Ausdehnung fester Körper durch die Wärme.** Das Eis fühlt sich kalt an. Wasser, welches man in einem Kochtopf auf das Feuer setzt, wird zunächst lau, dann warm und endlich heiß.

Die Naturkraft, unter deren Einwirkung nicht allein das Wasser, sondern auch alle anderen Körper auf unser Gefühl die eben bezeichneten verschiedenen Eindrücke macht, nennen wir Wärme.

Die Erwärmung eines Körpers bringt aber neben den genannten Eindrücken auf unser Gefühlsvermögen auch noch andere Wirkungen auf die verschiedenen Körper hervor, von denen wir zunächst die Ausdehnung betrachten wollen.

Es ist oben in §. 1 gesagt worden, daß die festen und flüssigen Körper ein selbständiges Volumen haben, d. h. daß eine gleiche Gewichtsmenge irgend eines festen oder flüssigen Stoffes auch stets den gleichen Raum einnimmt. Nach den oben mitgetheilten Eigengewichten nimmt 1 Kilogramm Wasser einen Raum von 1000 Kubikcentimetern, und 1 Kilogramm Eisen einen solchen von 129 Kubikcentimetern ein. Dies ist jedoch nur insofern wahr, als man die unbedeutende Ausdehnung unberücksichtigt läßt, welche feste und flüssige Körper durch Erwärmung erleiden.

Fig. 216.



Am geringsten ist die Ausdehnung fester Körper, man bedarf besonderer Vorrichtungen, um sie überhaupt nur merklich zu machen, wie dies z. B. auf folgende Weise geschieht. Aus einem 5 bis 6 Millimeter dicken Messingstab von ungefähr 15 Centimeter Länge wird ein Bügel *A B C*, Fig. 216, verfertigt, dessen einander zugewendete Enden *f* und *g* etwas kugelförmig abgerundet sind. Zwischen diesen Enden *f* und *g* paßt nun irgend ein Metallstab *D*, dessen Enden gleichfalls etwas abgerundet sind, in der

Art, daß er bei gewöhnlicher Zimmerwärme eben festgeklemmt ist. Diese Vorrichtung wird nun bei *B* in irgend passender Weise gefaßt in horizontaler Lage erhalten und dann die Flamme einer Weingeistlampe unter dem Mittelstück *A* des Bügels langsam hin und her geführt. Auf diese Weise wird *A* erwärmt, während *D* kalt bleibt. Sobald *A* warm genug geworden ist, fällt *D* herab, ein Beweis, daß die Bügelenden *f* und *g* sich etwas von einander entfernt haben, daß also *A* etwas länger geworden ist. — Sobald *A* wieder kalt geworden ist, paßt *D* zwischen *f* und *g* wieder genau ebenso, wie vorher.

Wird ein Stab von 1 Meter Länge von der Temperatur (Erwärmungsgrad) des schmelzenden Eises (oder, was dasselbe ist, des gefrierenden Wassers) bis zu der des siedenden Wassers erwärmt, so verlängert er sich ungefähr um

3 Millimeter, wenn er aus Zink,
2 „ „ „ „ Messing,
$1\frac{3}{10}$ „ „ „ „ Eisen,
$\frac{8}{10}$ „ „ „ „ Glas,

besteht.

Die Kraft, mit welcher sich ein fester Körper bei der Erwärmung ausdehnt, ist sehr groß. Es würde eines Gegendrucks von ungefähr 5200 Pfunden bedürfen, um die Ausdehnung zu verhindern, welche ein Eisenstab von 1 Quadratcentimeter Querschnitt erleidet, wenn er von der Temperatur des schmelzenden Eises bis zu der des siedenden Wassers erwärmt wird.

Die Kraft, mit welcher sich ein fester Körper beim Erkalten zusammenzieht, ist derjenigen gleich, mit welcher er sich beim Erwärmen ausdehnt.

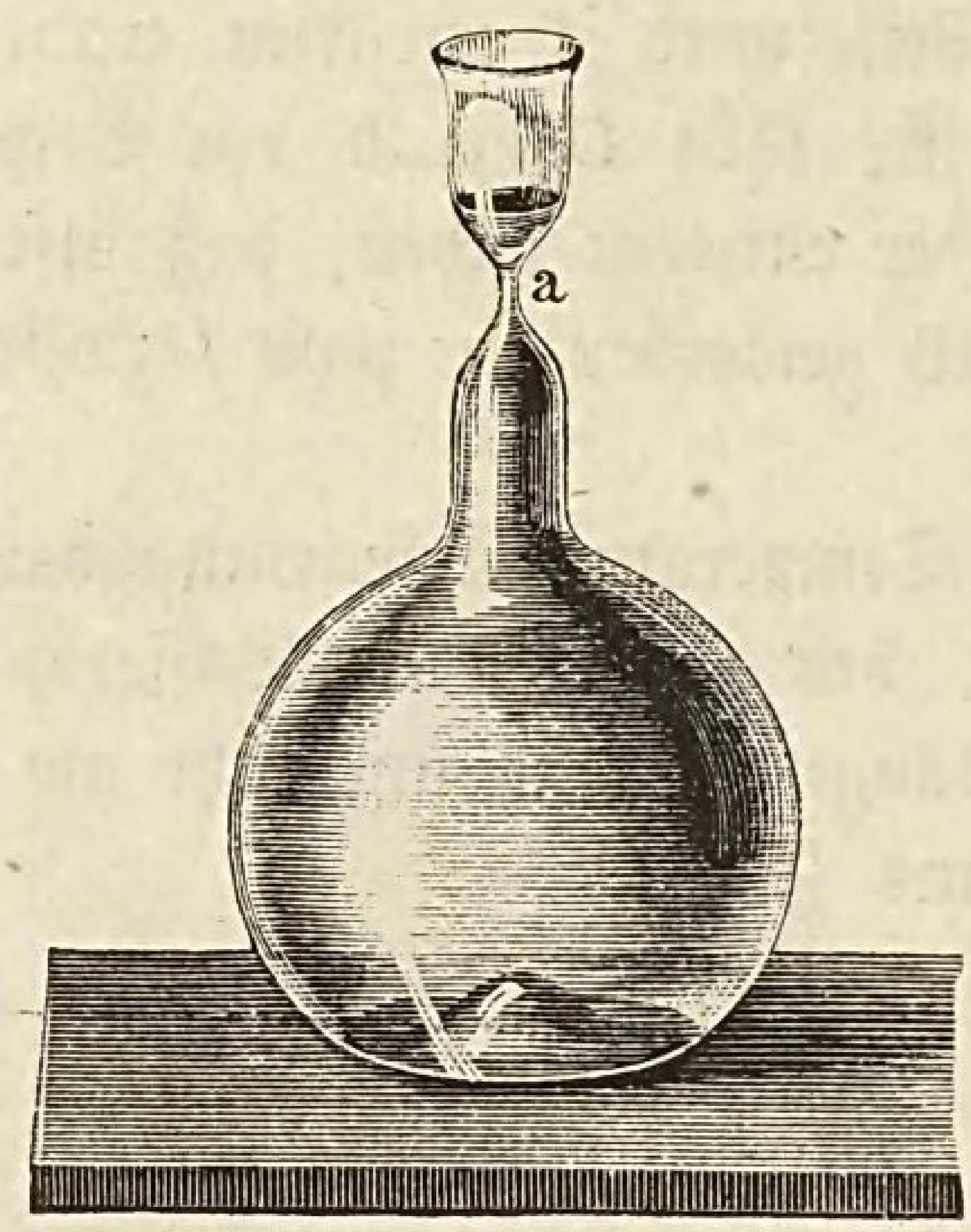
Legt man einen heißen eisernen Reif um ein Rad, so daß er eben paßt, so wird er nach dem Erkalten das Rad so fest zusammenhalten, wie man es auf keine andere Weise zu erreichen im Stande wäre.

Da die Wände der Gefäße, aus welchem Stoff sie auch gebildet sein mögen, sich bei der Erwärmung ausdehnen, so muß dabei ihr Rauminhalt (Volumen) nothwendig zunehmen. Ein Glasgefäß, welches bei der Temperatur des schmelzenden Schnees gerade 1000 Kubikcentimeter (1 Liter) Inhalt hat, wird bei der Temperatur des siedenden Wassers ungefähr einen Rauminhalt von $1002\frac{1}{2}$ Kubikcentimeter haben.

Ausdehnung flüssiger Körper. Die Flüssigkeiten dehnen sich 88
durch Erwärmung schon bei weitem stärker aus als feste Körper, was schon daraus hervorgeht, daß ihre Ausdehnung in Glasgefäßen sehr deutlich sichtbar ist, obgleich sich die Glasgefäße selbst ausdehnen. Ein Glaskölbchen von 50 bis 150 Kubikcentimeter Inhalt, dessen Hals in ähnlicher Weise ausgezogen ist, wie Fig. 217 (f. S.), fülle man bei gewöhnlicher Zimmerwärme bis zur engsten Stelle *a* des Halses mit Wasser, oder mit Oel oder mit Petroleum. Erwärmt man dann das Kölbchen nur um wenige Grade, indem man es in warmes Wasser einsenkt, so steigt die Flüssigkeit bedeutend über *a* hinaus. Dehnte sich die Flüssigkeit genau ebenso stark aus, wie das Glasgefäß, so würde der Gipfel der Flüssigkeit unverändert bei *a* stehen bleiben, da aber die Flüssigkeit bedeutend über *a* hinaussteigt, so ist offenbar ihre Ausdehnung viel bedeutender, als die des Glasgefäßes.

Wägt man die Flüssigkeitsmasse, welche einmal bei der Temperatur des schmelzenden Eises (0 Grad) und dann wieder bei der Temperatur des siedenden Wassers (100 Grad), das Gefäß, Fig. 217, bis *a* füllt, so läßt sich aus beiden Wägungen berechnen, in welchem Verhältniß sich die fragliche Flüssigkeit bei der bezeichneten Erwärmung ausdehnt. Man hat auf diese Weise gefunden, daß bei einer Erwärmung von der Temperatur des schmelzenden Eises bis zu der des siedenden Wassers

Fig. 217.



1 Lit.[1] Quecksilber sich ausdehnt um 18 Kbcm.
„ Wasser „ „ „ 43 „
„ Olivenöl „ „ „ 90 „
„ Petroleum „ „ „ 100 „

Wie wir im nächsten Paragraphen sehen werden, hat man den Temperaturunterschied zwischen dem siedenden und dem gefrierenden Wasser nach Réaumur in 80 (nach Celsius in 100) gleiche Theile getheilt, welche man Grade nennt. Für die meisten Flüssigkeiten ist nun die Ausdehnung der Erwärmung nahezu proportional, so daß sich eine Flüssigkeit bei einer Temperaturerhöhung von 10°, von 20°, von 40° (nach Reaumur) um $^1/_8$, $^1/_4$, $^1/_2$ des Volumens ausdehnt, welches einer Temperaturerhöhung von 80° entspricht. 1000 Kubikcentimeter Petroleum von 0° werden sich also bei einer Temperaturerhöhung von 10, 20, 40 Grad Reaumur um $12^1/_2$, 25, 50 Kubikcentimeter ausdehnen.

Wenn man also einmal 1 Liter Oel oder 1 Liter Petroleum bei kaltem und einmal bei heißem Wetter kauft, so erhält man im letzteren Falle entschieden weniger als im ersteren.

Eine höchst merkwürdige Ausnahme von dieser Gleichförmigkeit macht das Wasser. Zwischen 0 und 10° ändert sich sein Volumen so unbedeutend, daß wir hier davon ganz absehen können. 1000 Cubikcentimeter Wasser von 0° dehnen sich bei einer Temperaturerhöhung von

13° um 1 Kubikcentimeter
24 „ 4 „
48 „ 17 „
80 „ 43 „

aus. Mit höherer Temperatur nimmt also die Ausdehnbarkeit des Wassers sehr rasch zu.

Das Merkwürdigste und Wichtigste im Verhalten des Wassers gegen die Wärme besteht aber darin, daß es sich beim Erstarren bedeutend ausdehnt. Das Eigengewicht des reinen, vollkommenen, luftfreien Eises ist nur $^9/_{10}$ von dem des Wassers, so daß 10 Kubikcentimeter Eis so viel wiegen, als 9 Kubikcentimeter Wasser von 0°. Das Eis schwimmt selbst auf kochendem Wasser.

Es ist dies für den Haushalt der Natur von der allergrößten Wichtigkeit,

[1] 1 Liter = 1000 Kubikcentimeter.

denn ohne diese Eigenthümlichkeit wären unsere Gegenden wohl völlig unbewohnbar. Der Umstand nämlich, daß das Eis leichter ist als Wasser, hat zur Folge, daß sich im Winter Flüsse und Seen mit Eis bedecken, dessen Dicke nur sehr langsam zunimmt. So kommt es, daß das Frühjahr nur verhältnißmäßig wenig Eis zu schmelzen findet. Wäre das Eis schwerer wie Wasser, so würde das an der Oberfläche gebildete Eis augenblicklich untersinken und neues Wasser mit der kalten Luft in Berührung kommen; die Eisbildung würde also weit rascher vor sich gehen und in kurzer Zeit die ganze Wassermasse der Flüsse und Seen vom Boden bis zum Spiegel gefroren sein. Das kommende Frühjahr fände colossale Eismassen zu schmelzen, wodurch die Entwickelung des Pflanzenlebens ungemein verzögert würde.

Auch die Ausdehnung der Flüssigkeiten durch die Wärme geschieht mit großer Kraft. Wenn ein ganz mit Oel oder Petroleum gefülltes Glasfläschchen mit einem Korke so geschlossen wird, daß kein seitliches Entweichen der Flüssigkeit mehr möglich ist, so wird beim Erwärmen entweder das Gefäß zersprengt, oder der Kork herausgetrieben. Die Erwärmung des Fläschchens geschieht am bequemsten dadurch, daß man es in ein Kochgeschirr mit kaltem Wasser legt und dieses allmälig erwärmt.

Um das Heraustreiben des Korkes zu verhindern, kann man ihn mit dünnem, ausgeglühtem Eisendraht festbinden.

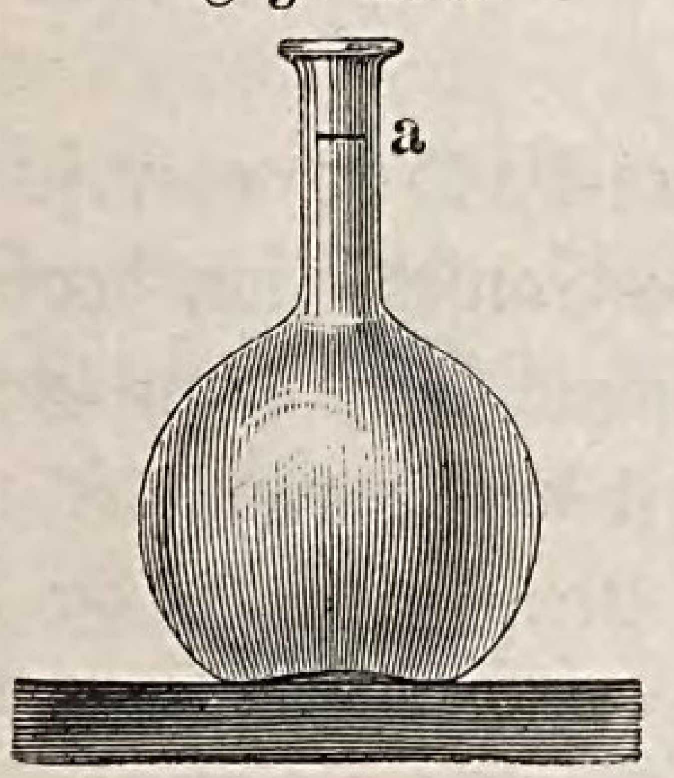
Wenn man das Fläschchen selbst mit Wasser füllt, so geht der Versuch zwar auch, das Sprengen erfolgt aber erst, wenn die Erwärmung weiter fortgeschritten ist, weil sich das Wasser erst bei höheren Temperaturen bedeutend ausdehnt.

Wenn Fässer bei niederer Temperatur mit Oel oder Petroleum mit Ausschluß aller Luft gefüllt und mit einem gut schließenden Spunten verschlossen werden, so läuft man Gefahr, daß sie bei höherer Temperatur zersprengt werden; man muß deshalb beim Füllen der Fässer immer noch einen entsprechenden Raum frei lassen. Bei Weinfässern ist diese Vorsicht weniger nöthig, weil der ohnehin nicht brennbare Wein bei den Temperaturschwankungen, welchen er etwa in Fässern ausgesetzt werden kann, sich nur unbedeutend ausdehnt.

Ganz enorm ist die Kraft, mit welcher sich das Wasser beim Gefrieren ausdehnt. Wenn man eine selbst dickglasige, mit Wasser gefüllte Flasche sehr gut verkorkt (wobei man nicht einmal auf gänzlichen Ausschluß der Luft zu sehen braucht) und sie dann in einer recht kalten Winternacht ins Freie legt, so wird die Flasche durch das gefrierende Wasser zersprengt.

Es ist nicht einmal nöthig, das Glasgefäß zu verkorken. Wenn man einen Glaskolben, Fig. 218, etwa bis zum untern Ende des Halses mit Wasser gefüllt ins Kalte stellt, so gefriert zuerst die obere Wasserschicht und bildet einen Pfropfen, welcher die Ausdehnung des darunter befindlichen Wassers nach oben verhindert; wenn nun auch die unten abgesperrte Wassermasse gefriert, so muß sie nothwendig das Gefäß zersprengen.

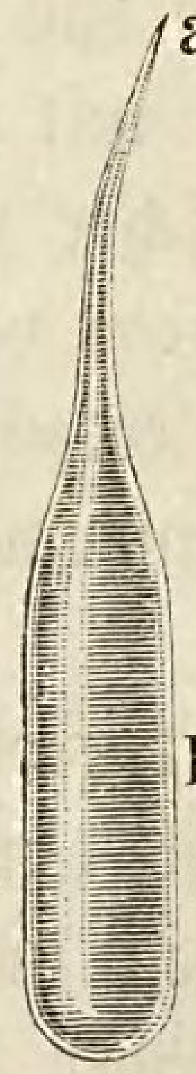
Fig. 218.



Um zu diesem Versuch nicht kalte Winternächte abwarten zu müssen und ihn vielmehr jederzeit beim

Unterricht ausführen zu können, läßt sich folgendes Verfahren anwenden. Ein etwas dünnes Reagenzröhrchen, Fig. 219, wird vor der Glasbläserlampe zu einer feinen Spitze ausgezogen. Wird nun das Gefäß erwärmt und die abgebrochene Spitze *a* in Wasser getaucht, so wird es sich beim Erkalten theilweise mit Wasser füllen. Wird alsdann das so aufgesaugte Wasser über der Weingeistlampe bis zum Kochen erwärmt, so strömen die Wasserdämpfe mit Gewalt aus der Oeffnung hervor, indem sie auch alle etwa noch im Gefäß enthaltene Luft mit fortnehmen. Hat das Kochen nun eine Zeit lang fortgedauert, so wird die Spitze *a* abermals in ein Gefäß mit Wasser eingetaucht, und nun füllt sich das Gefäß *F* bei abermaligem Erkalten vollständig mit Wasser.

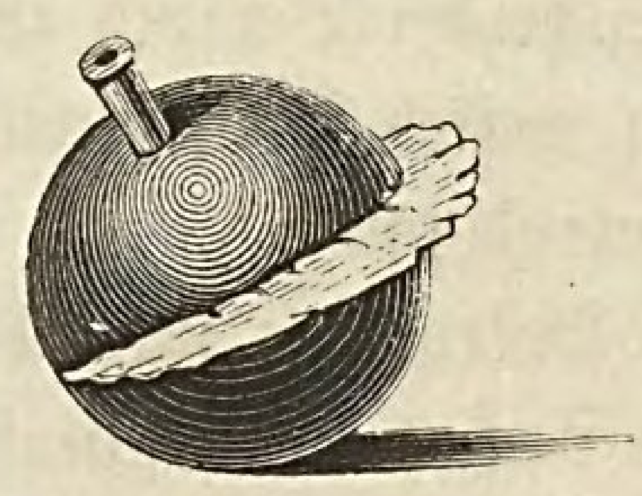
Fig. 219.



Um den Versuch zu machen, wird nun das so präparirte Gefäß *F*, Fig. 219, in ein Gemenge von Schnee und Kochsalz oder fein gestoßenem Eis und Kochsalz getaucht, welches so kalt ist, daß das in *F* enthaltene Wasser alsbald zum Gefrieren kommt, wobei denn das Gefäß *F* zersprengt wird.

Nicht allein Gefäße von Glas und Porzellan werden durch das gefrierende Wasser zersprengt, sondern auch Metallgefäße. Eiserne oder bleierne Wasserleitungsröhren werden zersprengt, sobald das in ihnen enthaltene Wasser gefriert. Solche Röhren müssen deshalb entweder vor der Erkaltung geschützt, oder beim Eintreten des Frostes von Wasser entleert werden.

Fig. 220.



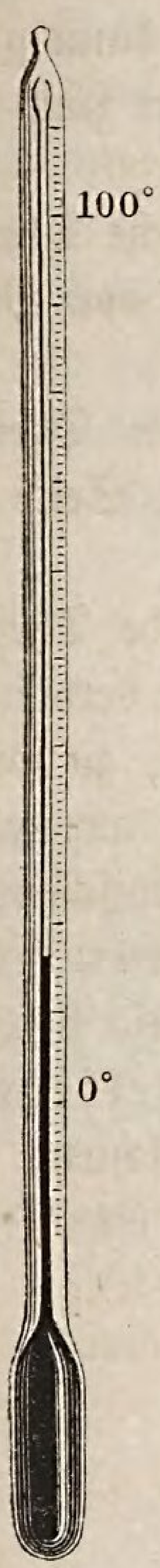
Selbst eiserne Bomben mit zolldicken Wänden werden durch die Eisbildung zersprengt, wenn die Oeffnung der mit Wasser gefüllten Hohlkugel durch einen eisernen Zapfen zugeschraubt und die Kugel einer hinlänglichen Kälte ausgesetzt wird. Aus dem gebildeten Spalt quillt dann eine Eisscheibe hervor, wie man Fig. 220 sieht.

89 **Das Thermometer**, wörtlich übersetzt der Wärmemesser, besteht aus einer ziemlich engen Glasröhre, an welche sich eine Glaskugel oder auch ein cylinderförmiges Glasgefäß, Fig. 221, ansetzt. Das Gefäß und ein Theil der Röhre ist mit einer Flüssigkeit gefüllt, deren Gipfel im Rohr bei gleichem Erwärmungsgrad des Gefäßes auch stets die gleiche Stelle einnimmt. Bei stärkerer Erwärmung des Gefäßes steigt der Gipfel der Flüssigkeitssäule im Rohr, das Thermometer steigt; wenn dagegen das Gefäß erkaltet wird, so sinkt der Gipfel der Flüssigkeitssäule, das Thermometer fällt.

Als Flüssigkeit im Thermometer wird entweder Quecksilber oder seltener gefärbter Weingeist angewendet; Wasser kann man zur Construction der Thermometer nicht brauchen, und zwar aus zwei Gründen; 1stens läuft man Gefahr, daß das Wasser im Gefäß gefriert und dasselbe zersprengt wird, wenn es unter die Temperatur des schmelzenden Schnees erkaltet wird; 2tens ist aber die Ausdehnung des Wassers viel zu unregelmäßig als daß man es zur Füllung von Thermometern benutzen könnte.

Die gewöhnlichen Thermometer sind mit Quecksilber gefüllt. Es geschieht dies in derselben Weise, welche angewendet wird, um das Gefäß, Fig. 219, mit Wasser zu füllen, nur ist die Ausführung der Operation etwas schwieriger, weil das Quecksilber erst bei einer viel höheren Temperatur siedet als das Wasser. — Ist Gefäß und Rohr bei hoher Temperatur ganz mit Quecksilber gefüllt, so wird die feine Spitze, zu welcher das Rohr ursprünglich oben ausgezogen war, mit Hülfe des Löthrohrs zugeschmolzen und dadurch das Thermometer geschlossen. Beim Erkalten des Gefäßes zieht sich dann der Gipfel der Quecksilbersäule mehr und mehr von der zugeschmolzenen Spitze zurück.

Fig. 221.



Das so präparirte Thermometer muß nun graduirt, d. h. mit einer Theilung versehen werden. Zu diesem Zwecke steckt man zunächst das Thermometergefäß in schmelzenden Schnee oder in schmelzendes fein gestoßenes Eis; der Gipfel der Quecksilbersäule sinkt nun allmälig, um endlich bei einem bestimmten Punkte stehen zu bleiben. Dieser Punkt wird bezeichnet, es ist der Eispunkt, d. h. der Gefrierpunkt des Wassers.

Nun wird das Thermometer in siedendes Wasser eingetaucht; anfangs steigt die Quecksilbersäule im Thermometerrohr rasch, dann langsamer und langsamer, um endlich bei einem bestimmten Punkte stehen zu bleiben, der nicht überschritten wird, wie lange man auch das Thermometergefäß im kochenden Wasser lassen mag.

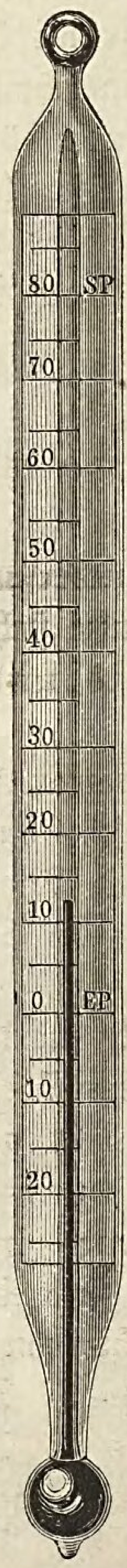
Dieser Punkt, der Siedepunkt, wird nun gleichfalls markirt und der Zwischenraum zwischen dem Gefrierpunkt und dem Siedepunkt des Wassers in 80 gleiche Theile getheilt, welche man Grade nennt. Der Eispunkt wird mit 0, der Siedepunkt mit 80 bezeichnet. Die Theilung wird über 80 hinaus und unter 0 nach unten fortgesetzt. Die von 0 nach oben gezählten Grade werden entweder mit + (plus) bezeichnet oder auch ohne solche Bezeichnung gelassen, die von 0 nach unten gezählten Grade werden aber stets mit — (minus) bezeichnet. An einem heißen Sommertage steigt z. B. die Lufttemperatur auf + 20 bis + 25, oder wie man gewöhnlich sagt, auf 20 bis 25 Grade, in kalten Winternächten aber sinkt die Lufttemperatur oft auf — 10, auf — 17 u. s. w. Grade, d. h. auf 10, auf 17 u. s. w. Grad unter 0.

Bei — 32^0 R. (32 Grade unter dem Eispunkt), einer Temperatur, welche im nördlichen Rußland und Sibirien öfters vorkommt, erstarrt das Quecksilber, für so tiefe Temperaturen ist deshalb das Quecksilberthermometer nicht mehr brauchbar, man muß in solchen Fällen zum Weingeistthermometer seine Zuflucht nehmen, welches aber wieder für höhere Temperaturen unbrauchbar ist, weil der Weingeist schon bei 62^0 R. siedet.

Vielfach wird das Thermometerrohr auf einem Holzbrettchen oder auf einem Metallblech befestigt, in welchem ein Loch oder eine Oeffnung zur Aufnahme der Kugel angebracht ist; die Scala ist alsdann auf das Brettchen aufgetragen. In neuerer Zeit hat aber die durch Fig. 222 (a. f. S.) erläuterte Form der Thermo=

meter größere Verbreitung gefunden; das eigentliche Thermometerrohr ist von einer weiteren Glasröhre umgeben, welche einerseits auf die Kugel aufgesetzt ist und in welche die auf Papier gezeichnete Scala hinter die Thermometerröhre eingeschoben und in entsprechender Stellung befestigt ist. Das obere Ende des Umhüllungsrohres wird dann gleichfalls zugeschmolzen und mit einem Ringe versehen, welcher zum Aufhängen des Instrumentes dient.

Fig. 222.



Sehr schön und für den Gebrauch bequem sind solche Thermometer, bei welchen der Papierstreif durch einen Streifen von Milchglas ersetzt ist, auf welchem die Scala eingebrannt ist.

Bei den feinsten und besten Thermometern ist die Theilung auf das Thermometerrohr selbst eingeätzt, wie Fig. 221, Seite 179 andeutet.

Die eben besprochene, von Réaumur herrührende Theilung der Thermometer ist im alltäglichen Leben weitaus die verbreitetste und nach ihr wird gewöhnlich die Luftwärme angegeben; zu wissenschaftlichen Zwecken wird aber eine andere Graduirung angewandt, welche von Celsius herrührt und bei welcher der Zwischenraum zwischen Eispunkt und Siedepunkt nicht in 80, sondern in 100 Grade getheilt ist. Bei einer Temperaturangabe muß man also stets beisetzen, ob sich dieselbe auf Réaumur'sche oder auf Celsius'sche Grade bezieht, was durch ein angehängtes R. oder C. geschieht. So heißt z. B. 25° R. fünfundzwanzig Grad Réaumur oder 64° C. heißt 64 Grad nach Celsius. Es sind

0° R.	=	0° C.
8 „	=	10 „
16 „	=	20 „
24 „	=	30 „
:		:
80 „	=	100 „

In England und Nordamerika ist aber noch eine dritte, von Fahrenheit herrührende und nach ihm benannte Thermometertheilung gebräuchlich, bei welcher nicht der Eispunkt, sondern eine künstliche Kälte zum Nullpunkt gewählt ist, welche man erhält, wenn man Schnee und Salmiak zusammen mengt. Von dem Fahrenheit'schen Thermometer kann hier nicht weiter die Rede sein.

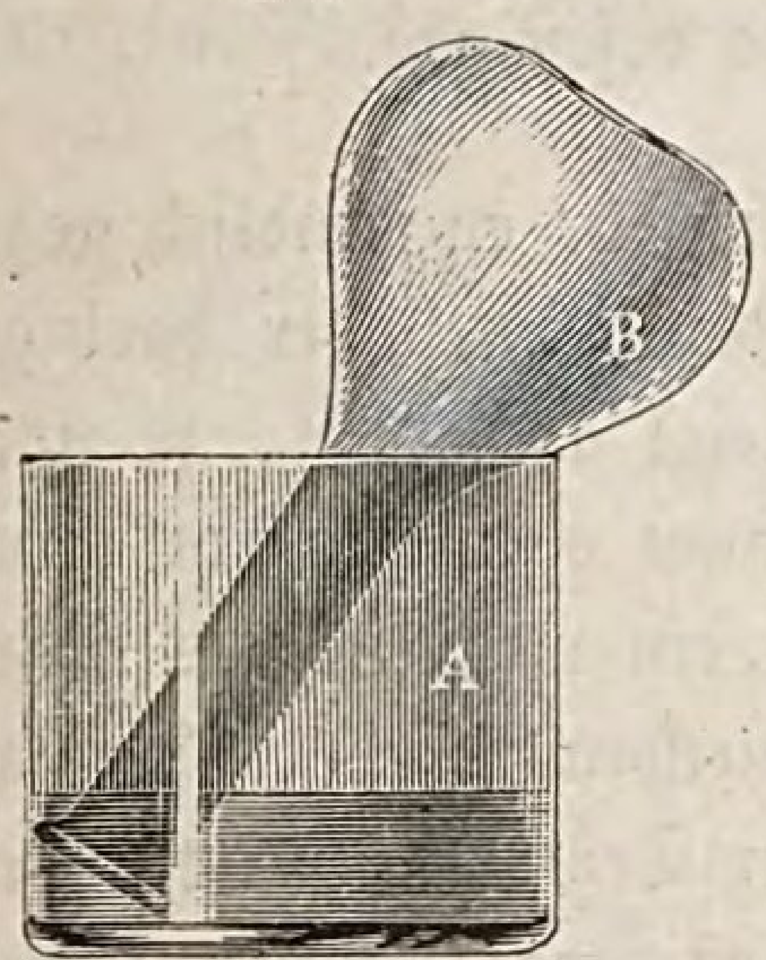
Man findet gar oft, daß von schlecht unterrichteten Leuten Barometer und Thermometer verwechselt werden, weil beide aus Glas und Quecksilber construirt sind, und doch sind beide Instrumente ihrem ganzen Wesen nach verschieden. Das Barometer mißt die Größe des Luftdrucks, das Thermometer mißt den Erwärmungsgrad nicht nur der Luft, sondern auch beliebiger anderer Stoffe, z. B. des Wassers. Das Barometerrohr hat bei größerer Weite eine bestimmte Länge, man kann also kein Barometer von nur 30 oder 50 Centimeter Länge construiren, während die Thermometer in beliebiger Größe ausgeführt werden können. Wenn bei gleicher Weite des Thermometerrohres das Gefäß größer gemacht wird, so

wächst dadurch der Abstand zwischen Eispunkt und Siedepunkt, die einzelnen Grade des Thermometers werden länger, während der gleichen Gradzahl doch die gleiche Erwärmung entspricht.

Das Thermometer ist ringsum geschlossen und das Gefäß vollständig mit Quecksilber gefüllt, während das Gefäß des Barometers oben offen und nur zum Theil mit Quecksilber gefüllt ist.

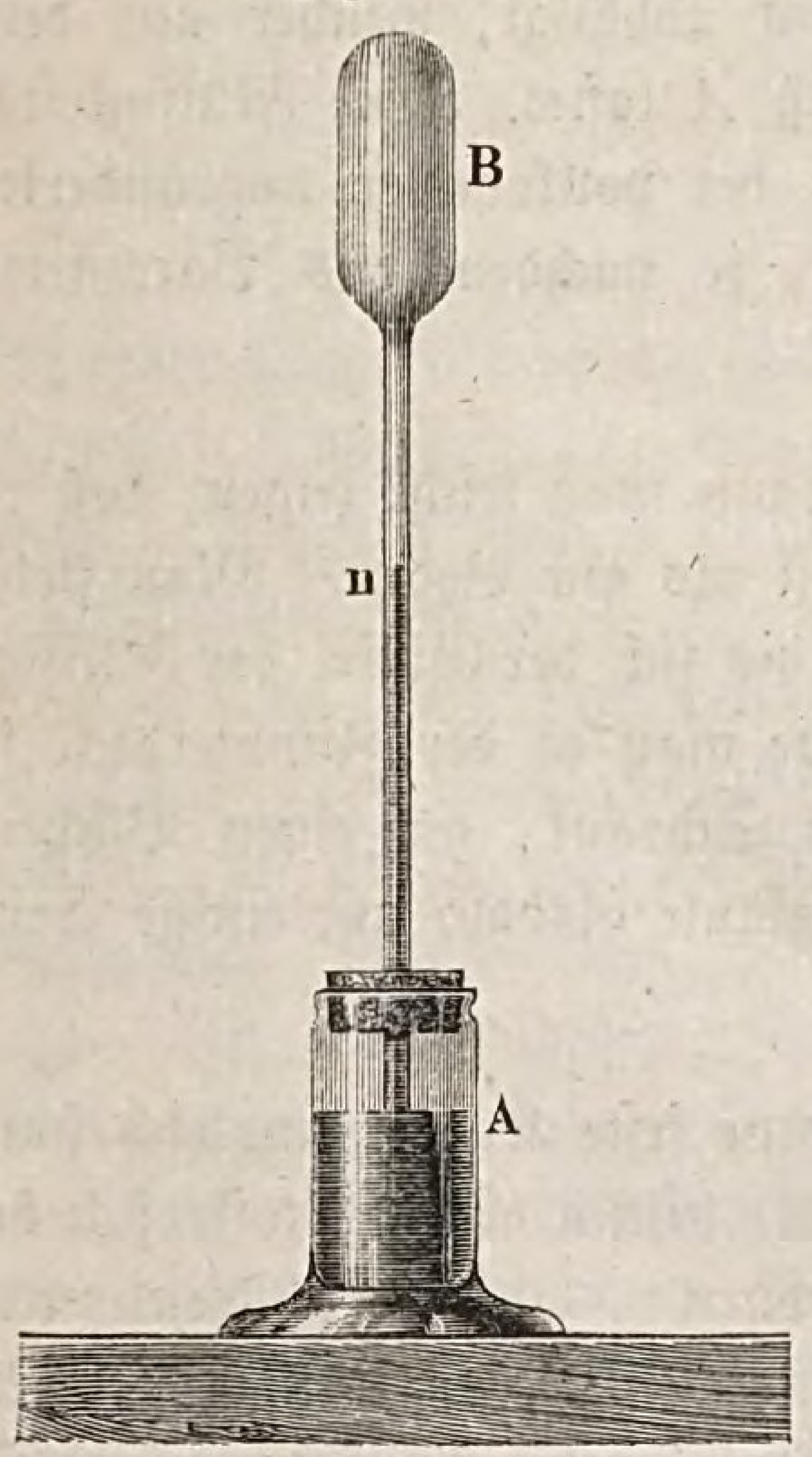
Ausdehnung der Luft. Weit stärker noch als Flüssigkeiten dehnt 90
sich die Luft und andere Gase durch Erwärmung aus. Ganz einfach läßt sich dies zeigen, wenn man ein Glaskölbchen *B*, Fig. 223, von 300 bis 500 Kubikcentimeter Inhalt, womöglich ein solches mit etwas langem Halse, die Mündung nach unten gekehrt, in ein Glasgefäß *A* eintaucht, welches zum Theil mit gefärbtem Wasser oder mit gefärbtem Weingeist gefüllt ist. Wenn man das Kölbchen *B* mit der Hand umfaßt, so reicht die dadurch bewirkte Erwärmung hin, um die eingeschlossene Luft so auszudehnen, daß Luftblasen aus der Mündung des Halses von *B* entweichen. Läßt man dann das Kölbchen *B* wieder erkalten, nachdem man die erwärmende Hand zurückgezogen hat, so zieht sich die in *B* zurückgebliebene Luft wieder zusammen, was man daran erkennt, daß nun die gefärbte Flüssigkeit im Halse von *B* über den Spiegel derselben in *A* steigt.

Fig. 223.



Noch auffallender wird die Erscheinung, wenn man das Kölbchen *B* mittelst einer etwas hin und her bewegten Weingeistlampe erwärmt; die Luftblasen entweichen dann in größerer Zahl aus der Mündung des Halses und nach dem Erkalten steigt die Flüssigkeit höher in demselben hinauf, als es beim Erwärmen mit der Hand geschieht.

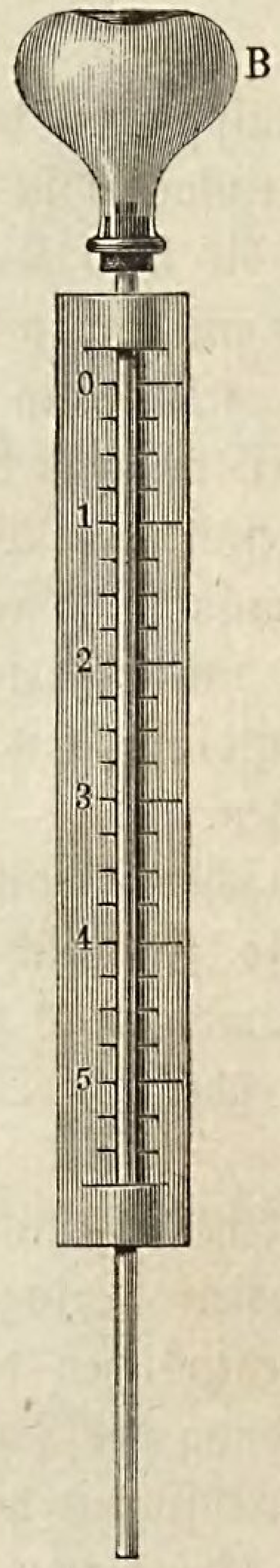
Fig. 224.



Statt der Vorrichtung Fig. 223 kann man auch den Apparat Fig. 224 benutzen. Statt des Gefäßes *A*, Fig. 223, dient hier ein etwas weites Opodeldocglas, statt des Kölbchens *B* ein Gefäß *B*, welches an ein 1 bis 2 Millimeter weites, 30 bis 40 ^{cm} langes Glasrohr angeblasen ist, welches mittelst eines nicht ganz schließenden oder eingekerbten Korkes in den Hals von *A* eingesetzt ist. Nehmen wir an, man habe durch Berührung mit der Hand das Gefäß *B* erwärmt und eine Parthie Luftblasen aus der Mündung des Rohres ausgetrieben, so wird nach dem Erkalten von *B* die gefärbte Flüssigkeit im Rohr etwa bis *n* steigen. Wird nun *B* im mindesten erwärmt, so sinkt der Gipfel der Flüssigkeitssäule unter *n* herab, während er steigt, wenn *B* noch weiter erkaltet wird.

Statt des angeblasenen Gefäßes *B* kann man auch ein Glaskölbchen von 50 bis 100 Kubikcentimeter Inhalt anwenden, in dessen Hals mittelst eines gut schließenden Korkes ein im Lichten 1 bis 2 Millimeter weites Glasrohr, Fig. 225, eingesetzt ist. Sollte der Kork nicht ganz luftdicht schließen, so kann man mit Wachs oder Siegellack nachhelfen. Man kann das Glasrohr leicht mit einer Scala versehen, indem man einen beliebigen Maaßstab, etwa eine Centimetertheilung, auf einen Papierstreifen von passender Länge und Breite aufträgt, denselben nahe an seinem oberen und unteren Ende mit einem Einschnitt versieht und ihn an die Röhre ansteckt, wie es die Figur zeigt. Damit der Papierstreifen nicht hin und her streift, kann man ihn mit etwas Wachs befestigen.

Fig. 225.



Eine derartige Vorrichtung ist nun sehr empfindlich gegen jede Temperaturveränderung, indem der Gipfel der farbigen Flüssigkeitssäule im Rohr bedeutend steigt oder fällt, je nachdem das Gefäß *B* nur ganz wenig erkaltet oder erwärmt wird; man sollte demnach meinen, daß sie ein vortreffliches Thermometer abgäbe. Dies ist jedoch durchaus nicht der Fall. Das Thermometer muß sich bei gleicher Temperatur auch stets genau auf denselben Theilstrich einstellen, was bei den Quecksilberthermometern auch wirklich der Fall ist; bei den Luftthermometern, wie man solche Vorrichtungen, wie Fig. 224, nennen kann, ist dies jedoch nicht der Fall, weil das Volumen der abgesperrten Luft nicht allein von ihrer Erwärmung, sondern auch von dem Luftdruck abhängt, welcher auf dem Spiegel der Flüssigkeit im Gefäß *A* lastet. Die Flüssigkeitssäule im Rohr Fig. 224, wird bei vollkommen ungeänderter Temperatur, steigen oder fallen, je nachdem das Barometer steigt oder fällt.

Mit Hülfe des Luftthermometers, Fig. 224, kann man leicht zeigen, daß es in einem geheizten Zimmer an der Decke wärmer ist als am Boden. Man stelle das Instrument zunächst auf den Boden und warte, bis sich der Gipfel der Flüssigkeitssäule vollkommen festgestellt hat; alsdann bringe man es der Zimmerdecke so nah als möglich, indem man es auf einen hohen Schrank, auf einen Bücherschaft oder dergleichen stellt, so wird die Flüssigkeitssäule alsbald um einige Centimeter herabgehen.

Bei gleicher Erwärmung dehnen sich verschiedene feste Körper ungleich stark aus; das Gleiche gilt für Flüssigkeiten, während alle luftförmigen Stoffe sich bei gleicher Erwärmung in gleichem Verhältniß ausdehnen. 1000 Kubikcentimeter Luft (oder auch 1000 Kubikcentimeter irgend eines anderen Gases) von 0^0 nehmen bei unverändertem Druck ein Volumen von 1365 Kubikcentimetern ein, wenn sie bis zur Temperatur des siedenden Wassers erwärmt werden. Das Verfahren, durch welches dies ermittelt wird, kann hier nicht näher besprochen werden.

Luftströmungen. Durch Erwärmung wird das Eigengewicht der 91
Luft geringer, eine erwärmte Luftmasse, welche ringsum von kälterer Luft umgeben ist, muß also steigen, und darauf gründet sich ja das Steigen der ältesten Luftballons, wie sie von Montgolfier construirt wurden.

Das Aufsteigen der erwärmten Luft erklärt auch die Wirkung der Schornsteine, wie sich an jeder mit einem gläsernen Schornstein versehenen Oel- oder Petroleumlampe nachweisen läßt. Daß aus dem Schornstein wirklich ein Strom warmer Luft aufsteigt, läßt sich ganz einfach mit Hülfe von Tabacksrauch nachweisen, den man in der Nähe der Schornsteinmündung langsam aus dem Munde bläst; man sieht dann, wie die Rauchwolke mit in die Höhe geführt wird.

Ein anderes Mittel, den aus dem Lampenrohr aufsteigenden Luftstrom nachzuweisen, ist die Papierspirale, Fig. 226; sie wird auf folgende Weise hergestellt.

Fig. 226.

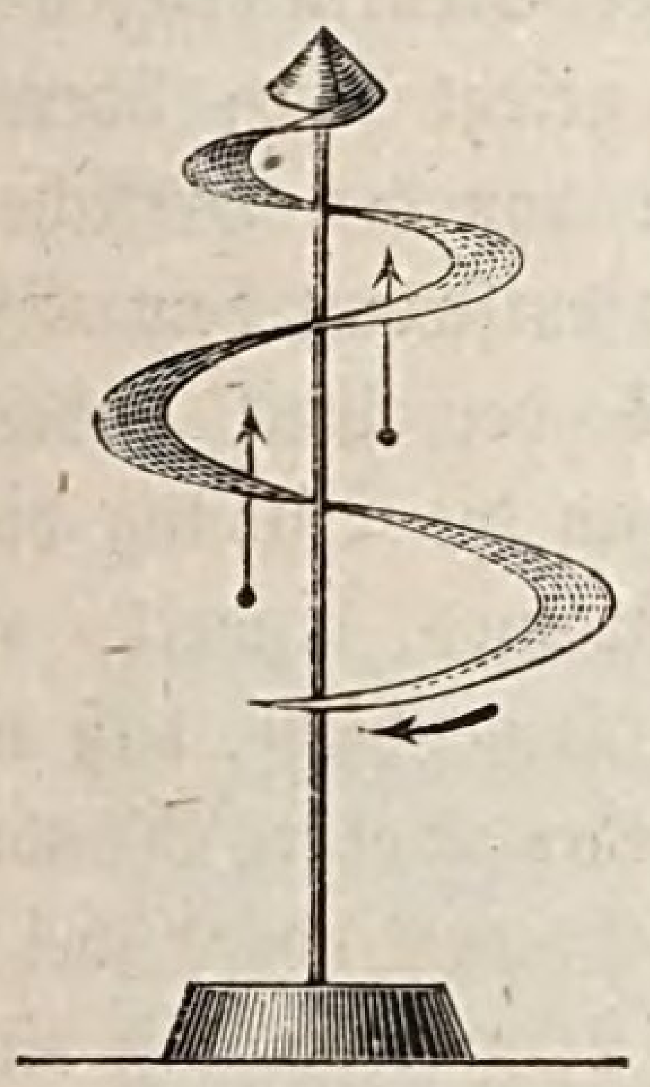
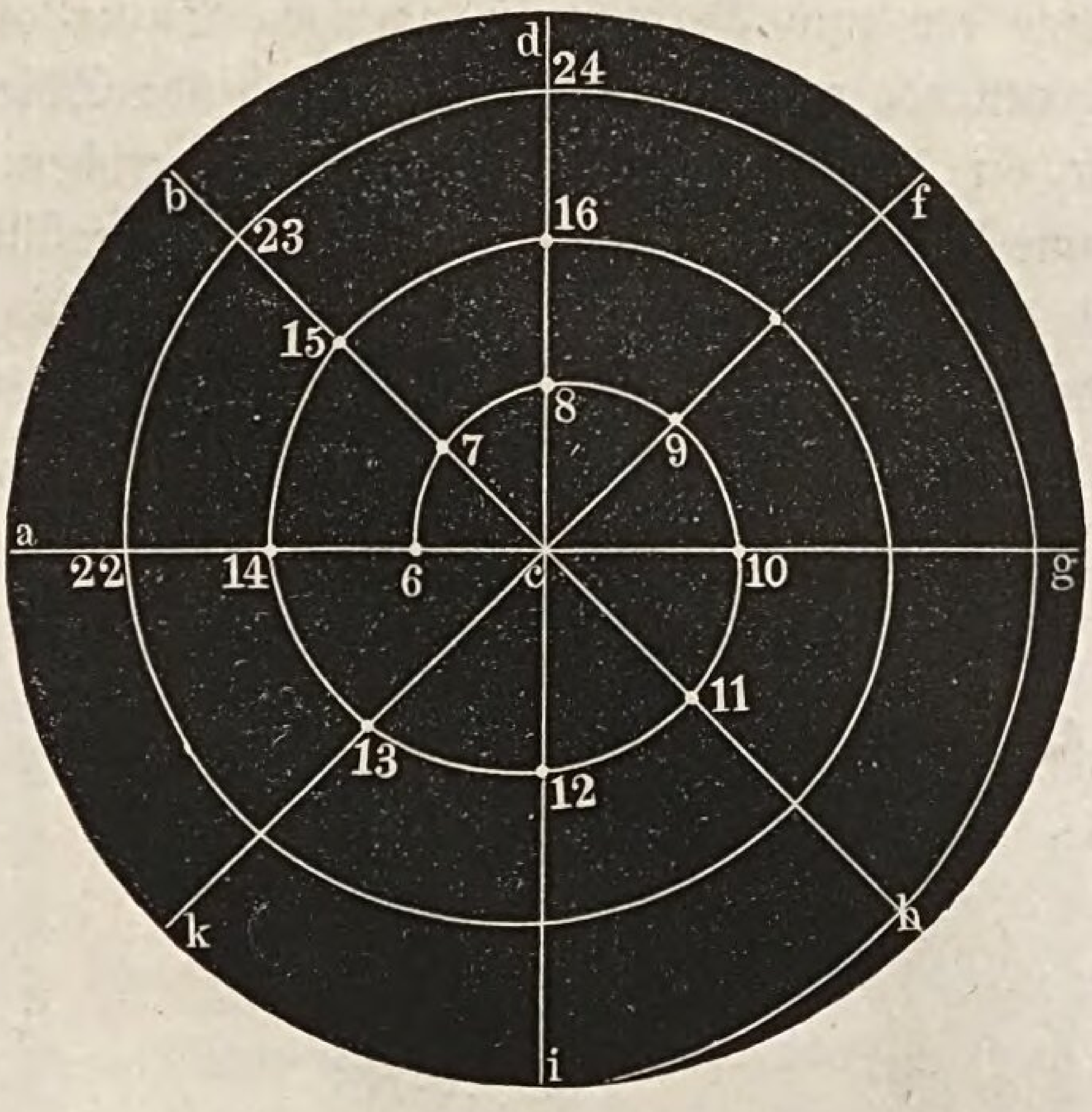


Fig. 227.



Auf einer Papierscheibe von 36 bis 40 Millimeter Durchmesser ziehe man 8 Radien *ca*, *cb*, *cd* u. s. w., Fig. 227, von denen jeder mit dem folgenden einen Winkel von 45° macht. Auf *ca* sind 3 Punkte aufgetragen, welche von dem Mittelpunkt *c* um 6 Millimeter, um 6 + 8 = 14 Millimeter, um 14 + 8 = 22 Millimeter entfernt sind. Die drei Punkte auf dem Radius *cb* sind um 7, 7 + 8 = 15 und 15 + 8 = 23 Millimeter vom Mittelpunkt entfernt. Auf *cd* sind drei Punkte markirt, die um 8, 16, 24 Millimeter von *c* entfernt sind, u. s. w. Ueber die so bezeichneten Punkte kann man dann die Spirale ausziehen, wie die Fig. 227 zeigt. Ist dies geschehen, so wird zunächst der Kreis *abd*...*ik* ausgeschnitten und dann mit der Scheere längs der Spirale ein Schnitt von *i* bis 6 geführt.

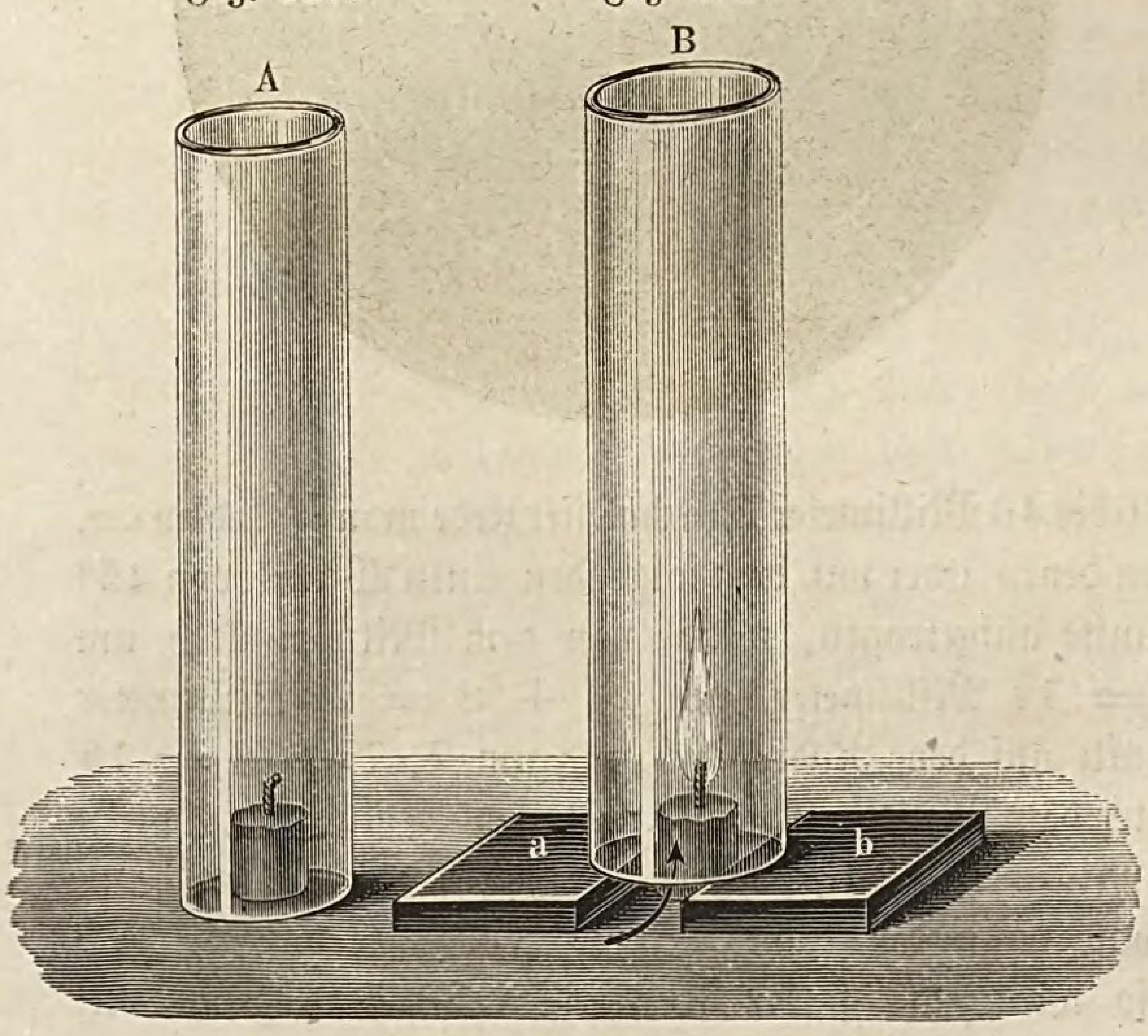
Um die Papierspirale so aufhängen zu können, wie Fig. 226 zeigt, muß aus dem mittleren Theil noch ein kleiner Hohlkegel gebildet werden, was dadurch geschieht, daß man einen geradlinigen Schnitt von 10 nach *c* führt und dann die untere Seite des Kreisausschnitts 10 *c* 11 auf die obere Seite des Kreisausschnitts 10 *c* 9 aufklebt. Setzt man das so gebildete Hütchen auf die Spitze eines Strickdrahtes, so hängt die Papierspirale herab, wie Fig. 226 zeigt, und sie dreht

sich leicht nach der einen oder anderen Seite um, je nachdem sie einem aufsteigenden oder absteigenden Strome ausgesetzt wird. Für einen aufsteigenden Luftstrom dreht sie sich in der Richtung des unteren Pfeiles, bei einem absteigenden Luftstrom in entgegengesetzter Richtung, wie man leicht zeigen kann, wenn man den Strickdraht mittelst eines passenden Fußes auf einen Tisch stellt und dann vorsichtig mit dem Munde von oben her auf *c* herabbläst.

Hält man nun bei möglichst verticaler Stellung des Drahtes die Spirale so über den Glascylinder einer brennenden Lampe, daß das Hütchen sich ungefähr 3 Decimeter über der Mündung desselben befindet, so tritt eine lebhafte Rotation der Spirale in der Richtung des unteren Pfeiles, Fig. 226, ein, zum Beweis, daß ein aufsteigender Luftstrom aus dem Glasrohre kommt.

Aus dem Glasschornstein kann aber nur dann ein ununterbrochener Strom warmer Luft entsteigen, wenn unten fortwährend kalte Luft einströmt, welche der Flamme den zum Verbrennen nöthigen Sauerstoff zuführt. Fig. 229 zeigt uns das brennende auf einem Tischblatt stehende Stümpchen einer Stearinkerze, neben welche die 3 bis 4 Millimeter hohen Brettchen *a* und *b* gelegt sind; über die Flamme der Kerze ist nun ein Glascylinder gestülpt, welcher von den Brettchen *a* und *b* getragen wird. Die Flamme brennt ruhig fort; oben entströmt dem Glascylinder ein warmer Luftstrom, während unten, wie es der Pfeil andeutet, kalte Luft zuströmt. Die Flamme muß erlöschen, sobald man die Bildung dieses Luftstromes hindert, was dadurch geschieht, daß man entweder die obere Mündung des Glascylinders bei *B*, Fig. 229 (etwa mit einem Kartenblatt), zudeckt, oder daß man die Brettchen *a* und *b* entfernt und den Glascylinder direct auf den Tisch selbst aufsetzt, wie bei *A*, Fig. 228.

Fig. 228. Fig. 229.



Was hier bei dem Lampencylinder in kleinem Maaßstab vorgeht, wiederholt sich in großem Maaßstab bei unseren Heizvorrichtungen. Im Schornstein steigt die erwärmte Luft in die Höhe und zieht dadurch kalte Luft nach, welche auf diese Weise durch den Rost dem brennenden Heizmaterial zugeführt wird. Höhe und Weite des Schornsteines muß natürlich zur Größe des Feuerraumes und zur Menge des in gegebener Zeit zu verbrennenden Heizmaterials in richtigem Verhältniß stehen. Die Kesselfeuerungen großer Dampfmaschinen bedürfen oft bedeutend hoher Schornsteine.

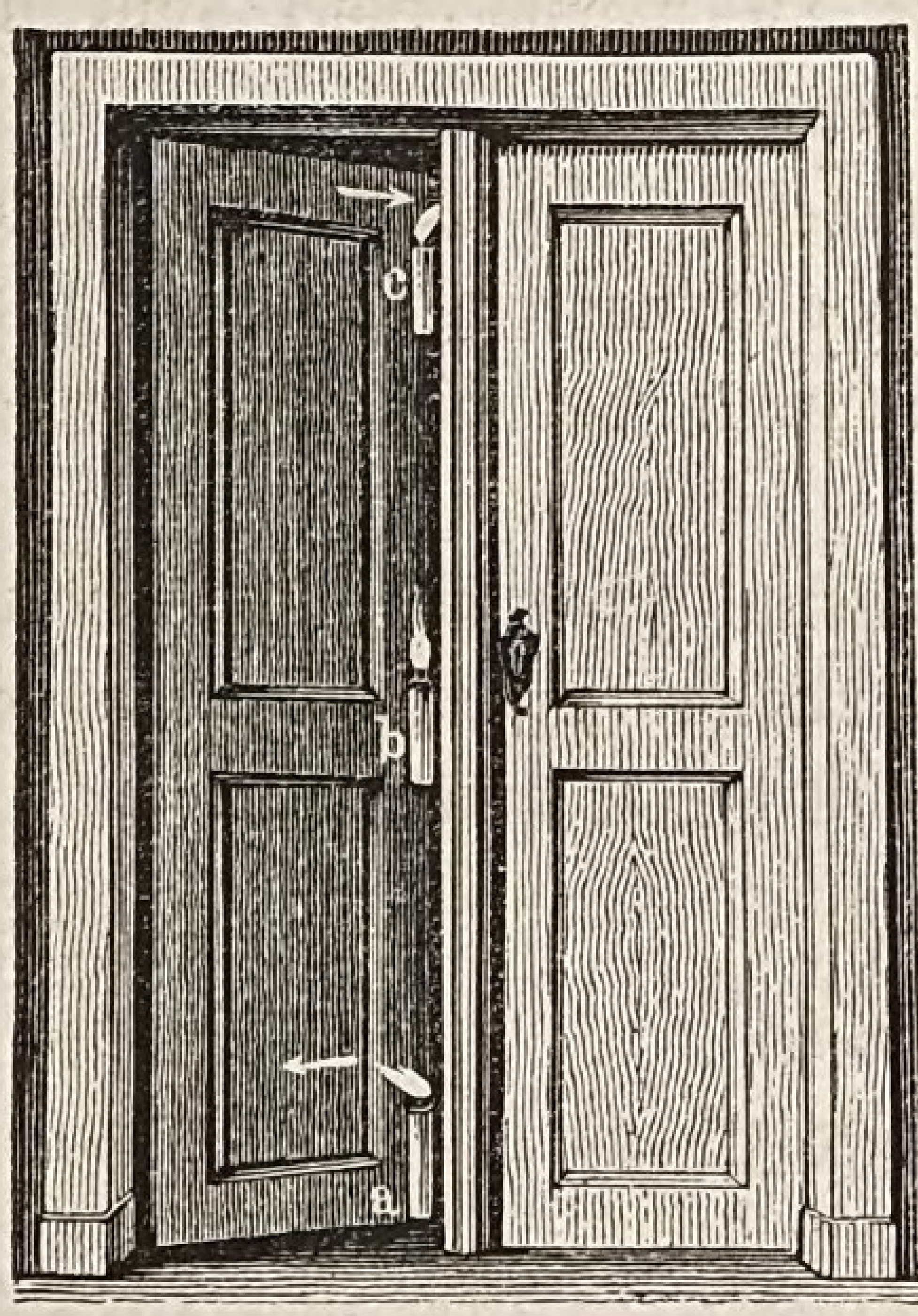
Wenn die Klappe unserer Ofenröhre geschlossen wird, während noch viel

glühende Kohlen auf dem Roste liegen, so erfolgt Aehnliches als ob man das Glasrohr bei *B*, Fig. 229, oben zudeckt. Die durch die Verbrennung gebildeten Gase können nicht mehr aus dem Rohre in den Schornstein entweichen, den Kohlen kann nicht mehr die zur vollständigen Verbrennung nöthige Menge Sauerstoff zugeführt werden. Bei unvollständiger Verbrennung der Kohle bildet sich Kohlenoxydgas (gewöhnlich Kohlendampf genannt), welches durch die Ofenthür im Zimmer in genügender Menge verbreitet, leicht den Erstickungstod der in demselben schlafenden Personen zur Folge haben kann. Ein zu frühes Schließen der Ofenklappen wird mindestens nachtheilig auf die Reinheit der Luft im Zimmer und auf die Gesundheit der in demselben sich aufhaltenden Personen einwirken.

Von den Oefen unserer Wohnzimmer steigt, wenn sie geheizt sind, fortwährend ein Strom warmer Luft in die Höhe, wie man leicht mit Hülfe der Papierspirale (Fig. 226) nachweisen kann. Die warme Luft verbreitet sich an der Zimmerdecke, um an den Wänden, namentlich aber an den Fenstern allmälig erkaltet sich wieder herabzusenken und am Boden als kalter Luftstrom dem Ofen wieder zuzuwenden.

Wenn man im Winter die in einen kalten Raum führende Thür eines geheizten Zimmers etwas öffnet und eine brennende Kerze an das obere Ende des Spaltes hält, wie man Fig. 230 sieht, so zeigt die nach außen gerichtete Flamme einen von dem warmen Zimmer nach dem kalten Raume gerichteten Luftstrom an. Rückt man nun mit der Kerze mehr und mehr herunter, so stellt sich die Flamme immer mehr und mehr aufrecht; ungefähr in der halben Höhe der Oeffnung steht sie aufrecht, sie ist hier nicht durch Luftströmung afficirt; bringt man sie aber noch weiter herunter, so wird die Flamme von außen nach innen getrieben. Man sieht also, daß die erwärmte Luft oben aus- und daß dagegen unten die kalte Luft in das Zimmer einströmt.

Fig. 230.



Was hier im Kleinen in unseren Zimmern vorgeht, wiederholt sich in großem Maaßstab in dem Luftmeere, welches unsere Erdkugel einhüllt. Durch die fortwährend wechselnden Erwärmungsverhältnisse an verschiedenen Stellen der Erdoberfläche wird das Gleichgewicht der Atmosphäre fortwährend gestört und dadurch Luftströmungen erzeugt, welche wir als Winde bezeichnen, auf deren eingehende Besprechung wir aber hier verzichten müssen.

Der Schmelzpunkt. Die meisten festen Körper können durch hinreichend gesteigerte Erwärmung geschmolzen, d. h. aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeführt werden, wenn sie nicht schon vorher unter dem Einflusse der Wärme eine chemische Zersetzung erleiden, wie dies z. B. beim Holz der Fall ist. 92

Jede Substanz, wenn sie überhaupt schmelzbar ist, hat einen festen Schmelzpunkt, d. h. der Uebergang aus dem festen in den flüssigen oder umgekehrt aus dem flüssigen in den festen Zustand findet für ein und dieselbe Substanz stets bei derselben Temperatur statt.

An einem kalten Wintertage fülle man ein beliebiges Gefäß, etwa ein Becherglas, einen Steintopf, ein Waschbecken oder dergleichen mit vollkommen trocknem Schnee, dessen Temperatur mehrere Grade unter Null ist. Dieses Gefäß wird dann in ein warmes Zimmer gebracht oder auch etwa auf den Ofen gestellt, der Schnee fortwährend tüchtig umgerührt und von Zeit zu Zeit ein Thermometer eingesetzt. Man findet auf diese Weise, daß die Temperatur des Schnees fortwährend steigt. War dieselbe z. B. beim Beginn des Versuches — 6°, so ist sie nach einiger Zeit — 4°, — 2° u. s. w. Der Schnee wird nun allmälig feucht und seine Temperatur steigt auf 0°, um von nun an unverändert zu bleiben, bis der Schnee fast ganz weggeschmolzen ist; jetzt erst beginnt die Temperatur des Wassers zu steigen.

Stellt man umgekehrt ein Glas mit Wasser von ungefähr 12°, in welches ein Thermometer so eingesenkt ist, daß die Kugel ungefähr $^1/_2$ bis 1 Centimeter tief unter dem Wasserspiegel steht, in einer sehr kalten Winternacht ins Freie, so sinkt dessen Temperatur anfangs rasch, dann langsamer bis auf 0°, um dann längere Zeit unverändert zu bleiben, während die Eisbildung an der Oberfläche des Wassers allmälig voranschreitet. Erst wenn die Thermometerkugel ganz in Eis eingehüllt ist, kann die Temperatur weiter unter Null sinken.

Wird also dem Schnee und dem Eise Wärme zugeführt, so findet die Schmelzung, oder wird dem Wasser Wärme entzogen, so findet das Erstarren, und zwar stets bei derselben Temperatur statt, welche wir als Nullpunkt der Thermometertheilung bezeichnen.

Auch bei anderen Stoffen, wenn sie überhaupt schmelzbar sind, fällt der Schmelzpunkt mit der Erstarrungstemperatur zusammen, verschiedene Stoffe haben aber verschiedene Schmelzpunkte; so ist der Schmelzpunkt für

Schmiedeeisen . . .	1600° C.	Zinn	230° C.
Stahl	1400	Schwefel	109
Gußeisen	1200	Weißes Wachs . . .	64
Glockenmetall . . .	900	Stearin	46
Zink	360	Olivenöl	2
Blei	334	Eis	0
Cadmium	321	Mandelöl	— 21
Wismuth	256	Quecksilber . . .	— 40

Wie die hohe Temperatur ermittelt wird, bei welcher schwer schmelzbare Substanzen flüssig werden, kann hier nicht besprochen werden.

Schmiedeeisen ist reines Eisen, während der Stahl $2^1/_2$, das Gußeisen aber 5 Proc. Kohlenstoff enthält. Die Beimengung geringer Mengen von Kohlenstoff macht also das Eisen leichter schmelzbar.

Der Schmelzpunkt von Legirungen ist meistens tiefer als der Schmelzpunkt der Metalle, aus denen sie bestehen. So schmilzt das Schnellloth der Blechner,

eine Legirung von 5 Gewichtstheilen Zinn mit 1 Gewichtstheil Blei, schon bei 194 Grad, während der Schmelzpunkt des Bleies sowohl wie der des Zinnes weit höher liegt. Am auffallendsten zeigt sich dies bei dem Wood'schen leichtflüssigen Metall, welches schon bei 71° C., also weit unter dem Siedepunkte des Wassers, schmilzt und aus 4 Wismuth, 2 Blei, 1 Zinn und 1 Cadmium besteht. Cadmium ist ein dem Zink ähnliches, meist gemeinschaftlich mit ihm vorkommendes Metall. Wird ein Stäbchen von Wood'schem Metall in kochendes Wasser getaucht, so schmilzt es rasch ab.

Schmelzungswärme. Beim Schmelzen fester Körper tritt nun aber noch eine zweite, höchst wichtige Erscheinung auf, nämlich die, daß dabei scheinbar eine große Menge Wärme für das Gefühl und das Thermometer verschwindet. Wenn man ein Gefäß mit Schnee auf einen geheizten Ofen stellt, so geht fortwährend Wärme von dem Ofen in den Schnee über, welcher mehr und mehr schmilzt, ohne daß, wie wir gesehen haben, die Temperatur der schmelzenden Masse sich ändert. Alle die Wärme, welche wir während der Schmelzung dem Schnee zuführen, dient nur dazu, den Schnee von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln; sie entzieht sich der Wahrnehmung durch das Thermometer, sie wird, wie man es ausdrückt, gebunden. 93

Ein Kilogramm Wasser von 0° enthält also namhaft mehr Wärme als ein Kilogramm Schnee oder Eis von 0°.

Ein Maaß für die Wärmemenge, welche beim Schmelzen des Eises gebunden wird, ergiebt sich aus folgendem Versuch. In einem Zimmer, dessen Temperatur nicht merklich über dem Gefrierpunkt ist, schütte man unter stetem Umrühren ein Kilogramm Wasser von 80° C. auf 1 Kilogramm trocknen Schnees von 0°, so wird alsbald die ganze Schneemasse geschmolzen sein und man hat nun 2 Kilogramm Wasser von 0°.

Alle Wärme also, welche 1 Kilogramm Wasser abgiebt, wenn es von 80° C. auf 0° erkaltet, wird verwendet, um 1 Kilogramm Schnee von 0° in 1 Kilogramm Wasser von 0° zu verwandeln, oder mit anderen Worten zur Schmelzung von 1 Kilogramm Eis wird gerade so viel Wärme verbraucht als nöthig ist, um die Temperatur von 1 Kilogramm Wasser von 0° auf 80° C. zu erhöhen.

Man sieht daraus, welch colossale Wärmemengen im Frühjahr zur Schmelzung der im Winter gebildeten Eismassen in Anspruch genommen werden und also für die Vegetation verloren gehen. Die so verlorene Wärmemenge würde aber ohne den in §. 88 besprochenen Umstand, daß das Eis leichter ist als Wasser, noch weitaus bedeutender sein.

Die Wärmemenge, welche bei der Schmelzung des Eises gebunden wird, dient lediglich dazu die Kraft zu überwinden, durch welche die Theilchen des festen Körpers in unveränderlicher gegenseitiger Stellung erhalten werden.

Wenn ein flüssiger Körper erstarrt, so muß demnach auch alle Wärme wieder austreten, welche bis dahin verwendet wurde, um den flüssigen Zustand zu erhalten; die beim Schmelzen gebundene Wärme muß beim Erstarren wieder frei werden. Dies geht schon daraus hervor, daß ein in niedrigerer Temperatur erstarrender Körper so lange die Temperatur des Schmelzpunktes unverändert bei-

behält, bis die Umwandlung in einen festen Körper vollendet ist; alsdann erst findet ein weiteres Sinken der Temperatur statt.

In einer sehr kalten Winternacht stelle man z. B. ein kleines Glasgefäß mit Wasser von ungefähr 10 Grad Wärme ins Freie und senke in dasselbe ein Thermometer ein, so wird man bemerken, daß die Temperatur des Wassers ziemlich gleichförmig sinkt, bis sie auf 0° herabgekommen ist. Nun aber bleibt die Temperatur des allmälig erstarrenden Wassers längere Zeit, je nach Umständen 10 bis 20 Minuten lang, vollständig ungeändert, und erst nachdem die ganze das Thermometer umgebende Masse in Eis verwandelt ist, erfolgt ein weiteres Sinken desselben. Die Temperatur der erstarrenden Masse bleibt also längere Zeit ungeändert, obgleich sie fortwährend Wärme an die Umgebung abgiebt und dies ist nur dadurch möglich, daß die in jedem Zeittheilchen an die Umgebung abgegebene Wärmemenge durch diejenige Wärme ersetzt wird, welche in demselben Zeittheilchen durch Erstarren einer entsprechenden Wassermenge frei wird.

In der angegebenen Form kann man den Versuch freilich nicht jeder Zeit anstellen, man muß eben kalte Winternächte abwarten; mit Hülfe der im nächsten Paragraphen zu beschreibenden Kältemischungen kann man ihn aber jederzeit anstellen. Man tauche ein ungefähr drei Centimeter weites cylindrisches Glasgefäß in eine Mischung von feingestoßenem Eis und Kochsalz, fülle es ungefähr 5 Centimeter hoch mit Wasser und senke das Gefäß eines Thermometers in das Wasser ein, so läßt sich leicht beobachten, wie das Thermometer alsbald auf 0° fällt, dann einige Zeit auf 0° stehen bleibt und erst wenn die Erstarrung vollendet ist, weiter sinkt.

94 **Kältemischungen.** Feste Körper können entweder durch Schmelzung flüssig gemacht werden, oder durch Auflösung in einer Flüssigkeit. Die Schmelzung eines festen Körpers kann nur dadurch bewirkt werden, daß ihm fortwährend von außen Wärme zugeführt wird, die Auflösung kann aber auch ohne solche Wärmezufuhr von außen stattfinden. Immerhin aber wird beim Uebergang des aufzulösenden Stoffs in den flüssigen Zustand eine gewisse Quantität Wärme gebunden und diese kann alsdann nur der Lösung selbst entnommen werden, ihre Temperatur muß sinken.

In ein Glas Wasser von der durch ein Thermometer zu messenden Temperatur der Zimmerluft werfe man eine Handvoll Salpeter und rühre das Wasser um, damit die Lösung möglichst rasch vor sich gehe, so wird nun die Temperatur der Lösung um einige Grad niedriger sein, als vorher die des Wassers war.

Die zur Flüssigmachung des Salpeters nöthige Wärme wird, da sie nicht von außen her zugeführt wird, der Lösung selbst entnommen, ihre Temperatur muß also sinken.

Weit schneller als Salpeter (salpetersaures Kali) löst sich aber krystallisirtes salpetersaures Ammoniak in Wasser und es wird dadurch also auch eine bedeutende Erkaltung hervorgebracht. Wenn man 1 bis 2 Pfund salpetersaures Ammoniak in 1 bis 2 Pfund Wasser unter ständigem Umrühren auflöst, so sinkt die Temperatur der Lösnng um 8 bis 10 unter 0.

Noch stärkere Erkaltung wird erzielt, wenn man zwei feste Stoffe mengt,

die sich alsbald zu einer flüssigen Lösung verbinden, wie z. B. Schnee oder zerstoßenes Eis mit Kochsalz. Wird auf je 1 Pfund fein gestoßenes Eis ungefähr $1/2$ Pfund Kochsalz geworfen, und dann die Masse tüchtig umgerührt, so wird sie zunächst feucht, und in kurzer Zeit ist ein Theil der vorher festen Stoffe flüssig geworden; dabei aber ist die Temperatur der Masse auf 20° C. oder, was dasselbe ist, auf 16° R. unter 0 gesunken. Senkt man ein mit Wasser gefülltes Reagenzröhrchen in diese kalte Masse ein, so wird es in kurzer Zeit gefrieren.

Diese Mischung von gestoßenem Eis und Kochsalz ist die gewöhnliche Kältemischung der Zuckerbäcker.

Verdampfung. Durch fortgesetzte Erwärmung können Flüssigkeiten 95
in Dampf verwandelt, d. h. in gasförmigen Zustand übergeführt werden.

Wenn wir auf unserem Heerde in einem beliebigen Kochgefäße Wasser ins Sieden bringen, so sehen wir, wie es heftig aufwallt, indem Dampfblasen am Boden des Gefäßes sich bilden, rasch in die Höhe steigen und an der Oberfläche der Flüssigkeit platzen, um ihren Inhalt in die Luft zu entlassen. Dabei nimmt dann die Masse des Wassers rasch ab. Auf diese Weise kann man in kurzer Zeit eine gegebene Menge Wasser auf $1/2$, $1/3$ ... $1/4$ seines ursprünglichen Volumens eindampfen, also die Hälfte, $2/3$, $3/4$ der ursprünglichen Wassermasse in Dampf verwandeln, welcher sich unsichtbar in der Luft verbreitet.

Die Luft enthält also stets eine gewisse Quantität Wasserdampf, welchen man dadurch sichtbar machen kann, daß man ihn durch Erkalten wieder in tropfbar flüssiges Wasser verwandelt. An einem recht heißen Sommertage gieße man z. B. in eine Glasflasche recht kaltes Wasser, so wird man sehen, wie sich dieselbe alsbald mit einem zarten Hauche überzieht, welcher aus ganz kleinen Wassertröpfchen besteht. Diese Tröpfchen werden größer und größer, bis sie endlich an der Flasche herabrinnen, wenn die Erkaltung derselben hinreicht.

Hat man nicht Wasser zur Hand, welches kalt genug ist, so kann man es dadurch kälter machen, daß man Salpeter oder salpetersaures Ammoniak in demselben rasch auflöst. Gießt man eine Kältemischung in die Flasche, durch welche dieselbe unter 0° erkaltet wird, so setzt sich das Wasser an derselben nicht mehr in Form von Thautropfen, sondern in Form von Reif an.

Wie sich hier der Thau an die erkaltete Wasserflasche ansetzt, so wird auch der Wasserdampf, welcher in der Luft eines geheizten, bewohnten Zimmers verbreitet ist, an den von außen erkalteten Fensterscheiben niedergeschlagen, und diese so mit einer Schicht von Wassertropfen überzogen. Wenn nun die Erkaltung der Fensterscheiben bis unter 0° fortschreitet, gefriert diese Wasserschicht, und es bilden sich die bekannten Eisblumen.

Um die Erscheinungen des Siedens zu verfolgen, ist der Apparat Fig. 231 (a. f. S.) sehr geeignet. Der Hals eines Glaskölbchens von 300 bis 500 Kubikcentimeter Inhalt, welches theilweise mit Wasser gefüllt ist, wird mit einem doppelt durchbohrten Kork verschlossen. In der einen Oeffnung des Korks steckt ein Thermometer, in der anderen ein kurzes horizontal umgebogenes Glasrohr von ungefähr 3 Millimeter Weite. Bringt man das Wasser ins Kochen, so steigt das Thermometer auf einen Punkt, auf welchem es stehen bleibt, so lange das Sieden des

Wassers unterhalten wird; es ist dies der bereits in §. 89 erwähnte Siedepunkt des Wassers. Der innere Raum des Glasballons enthält jetzt nur noch

Fig. 231.

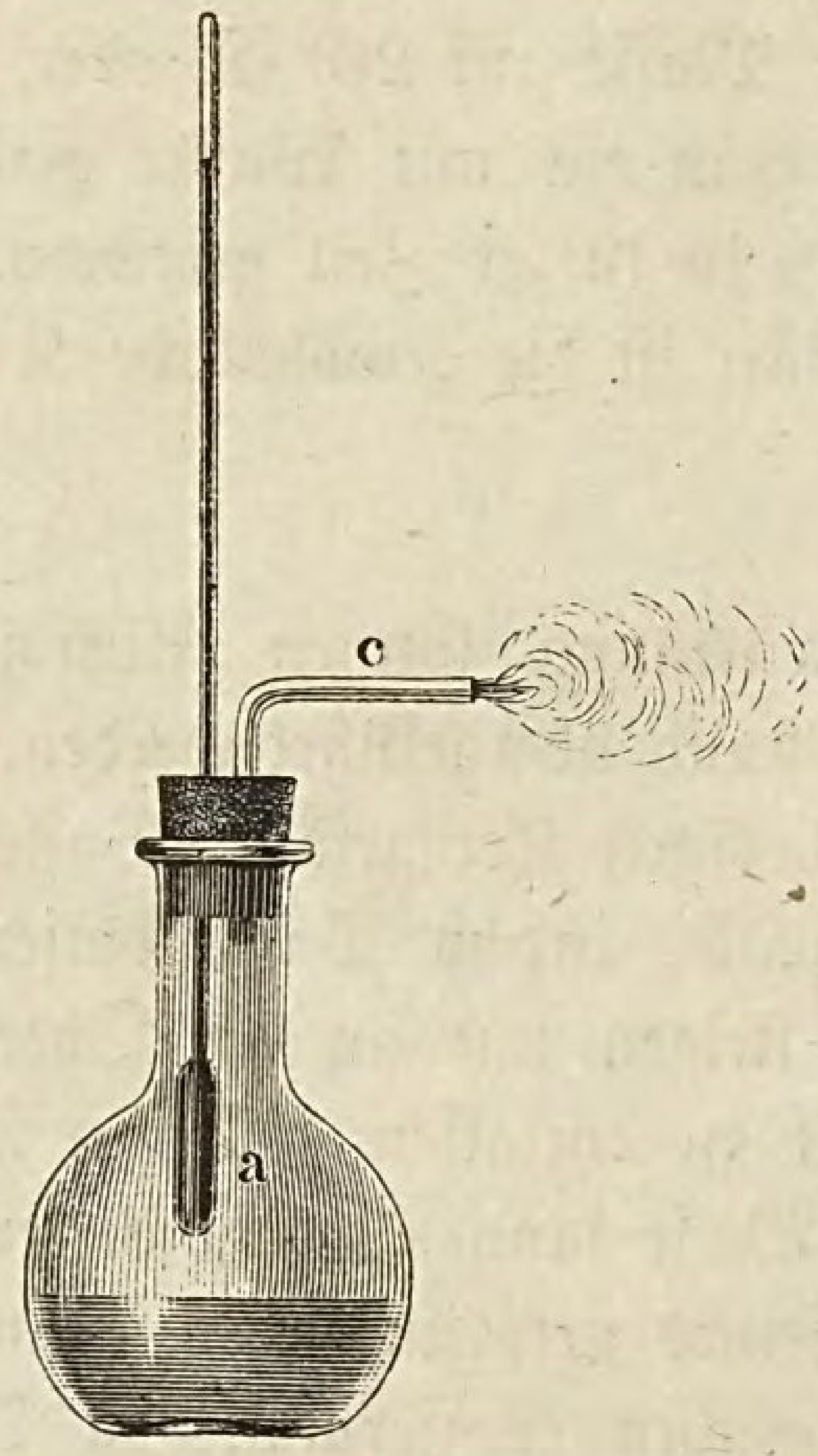
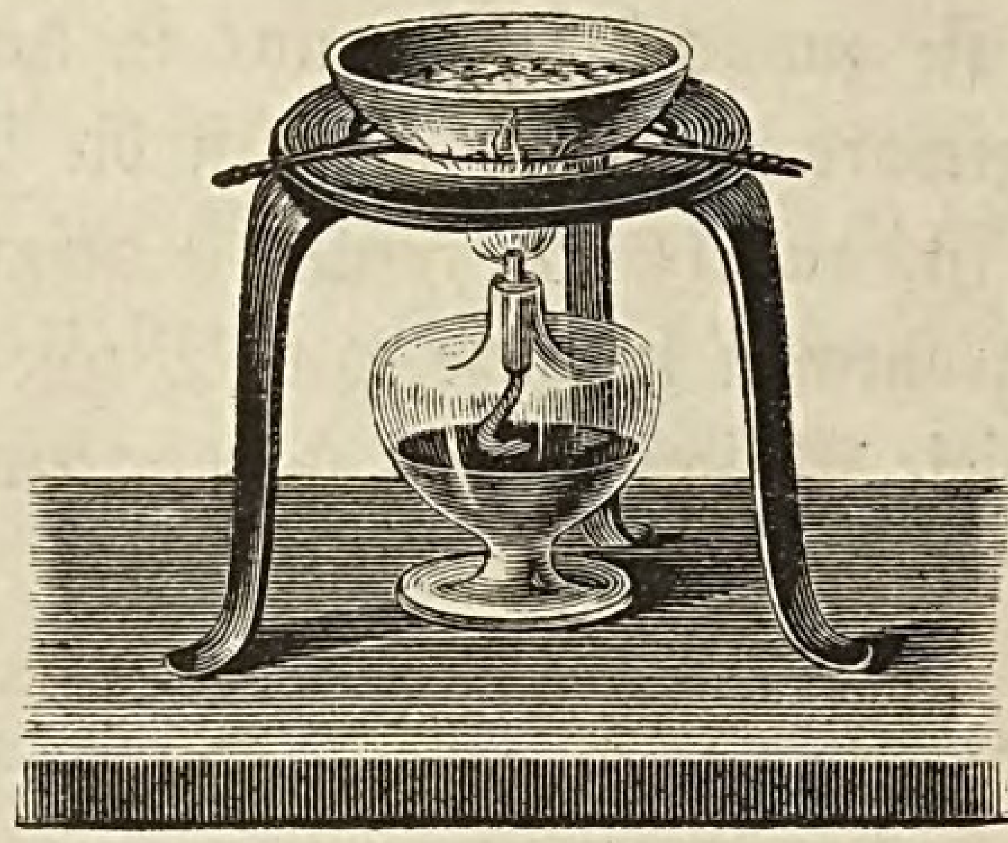


Fig. 232.



Wasserdämpfe, da die wenige Luft, welche anfänglich in demselben enthalten war, durch die entweichenden Dämpfe alsbald aus der Mündung des horizontal umgebogenen Röhrchens mit fortgerissen wird.

Um das Wasser in diesem Apparate sieden zu lassen, kann man ihn auf den in Fig. 232 dargestellten Dreifuß statt der in dieser Figur dargestellten Schale über eine Weingeistlampe stellen, wobei aber Anfangs die Weingeistflamme eine Zeit lang hin- und hergeführt werden muß.

Der Wasserdampf im Innern des Glaskölbchens ist vollkommen durchsichtig und deshalb auch unsichtbar. Sobald er aber aus der Mündung des Röhrchens ins Freie tritt, bildet sich ein zartes Nebelwölkchen, der Schwaden, was daher rührt, daß der austretende Wasserdampf, in der kälteren Umgebung abgekühlt, zum Theil seine gasförmige Gestalt verliert, also wieder zu Wasser wird, welches in feinster Vertheilung in Form äußerst kleiner Wasserkügelchen oder Bläschen in der Luft schwebt, und in dieser Form wieder sichtbar wird. Aber auch dieses Wölkchen verschwindet wieder, indem es sich mehr und mehr in der Luft verbreitet und dabei wieder in den Gaszustand übergeht.

Daß das Wölkchen wirklich aus fein vertheiltem, in der Luft schwebenden Wasser besteht, läßt sich dadurch zeigen, daß man der Mündung des horizontalen Röhrchens eine Glasplatte entgegenhält, an welche sich dann die Wassertheilchen mehr und mehr ansetzen, um endlich zu größeren Tropfen vereinigt an derselben herabzurinnen.

Was wir an dem Apparat Fig. 231 im Kleinen sehen, wiederholt sich bei der Locomotive in größerem Maaßstabe. Der Dampf, welcher dem Schornstein entsteigt, wird in Berührung mit der kälteren Luft größtentheils zu Wasser verdichtet, welches in feinst vertheiltem Zustande in der Luft schwebend eine Wolke bildet, welche als ein langer Streifen der Locomotive nachzieht. In weiteren Räumen sich verbreitend verdunstet aber auch diese Wolke wieder. Bei trockenem Wetter ist die dem Schornstein der Locomotive nachziehende Wolkenfahne kurz und locker, bei sehr feuchter Luft aber ist sie länger und massenhafter.

Die Wolken, welche in der Höhe unserer Atmosphäre schweben und welchen,

wenn sie dicht genug sind, der Regen entströmt, sind ihrer Zusammensetzung nach ganz übereinstimmend mit den Wolken, welche der Locomotive entsteigen; sie sind ein in der Höhe schwebender Nebel, während das, was wir gewöhnlich als Nebel bezeichnen, nichts ist, als eine bis auf den Boden herabgesenkte Wolke.

Siedepunkt. Zwischen Schmelzung und Verdampfung findet mannigfache Aehnlichkeit statt. Wie die Schmelzung eines jeden Stoffes bei einer bestimmten Temperatur stattfindet, so tritt auch das Sieden, d. h. der massenhafte Uebergang einer Flüssigkeit in den gasförmigen Zustand, stets bei einem bestimmten Temperaturgrad ein. So siedet z. B. das Wasser unter gewöhnlichem Luftdruck bei einer Temperatur, welche auf dem Réaumur'schen Thermometer mit 80, auf dem Celsius'schen mit 100 bezeichnet ist. 96

Um den Siedepunkt einer Flüssigkeit zu beobachten, kann man die Vorrichtung Fig. 231 benutzen. Ist die im Ballon siedende Flüssigkeit Wasser, so zeigt das Thermometer 80° (respective 100°) und zwar zeigt es dieselbe Temperatur, mag nun das Gefäß des Thermometers ganz von Dampf umgeben, wie es Fig. 231 zeigt, oder in das siedende Wasser selbst hinabgeschoben sein; das siedende Wasser hat also gleiche Temperatur mit dem sich aus demselben entwickelnden Dampfe. Alle während des Siedens dem Wasser zugeführte Wärme dient also nur dazu, das Wasser von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln. Bei schwächerem Feuer geht diese Dampfbildung langsamer, bei stärkerem geht sie rascher vor sich, während in beiden Fällen die Temperatur des siedenden Wassers vollkommen die gleiche ist.

Man kann daraus entnehmen, daß es eine ganz nutzlose Verschwendung ist, wenn man in unseren Kochherden durch vermehrtes Zuwerfen von Brennmaterial ein heftiges Aufwallen des siedenden Wassers erzielt; dies ist deshalb nicht im mindesten heißer, als wenn bei mäßigem Feuer nur spärliche Dampfblasen in demselben aufsteigen.

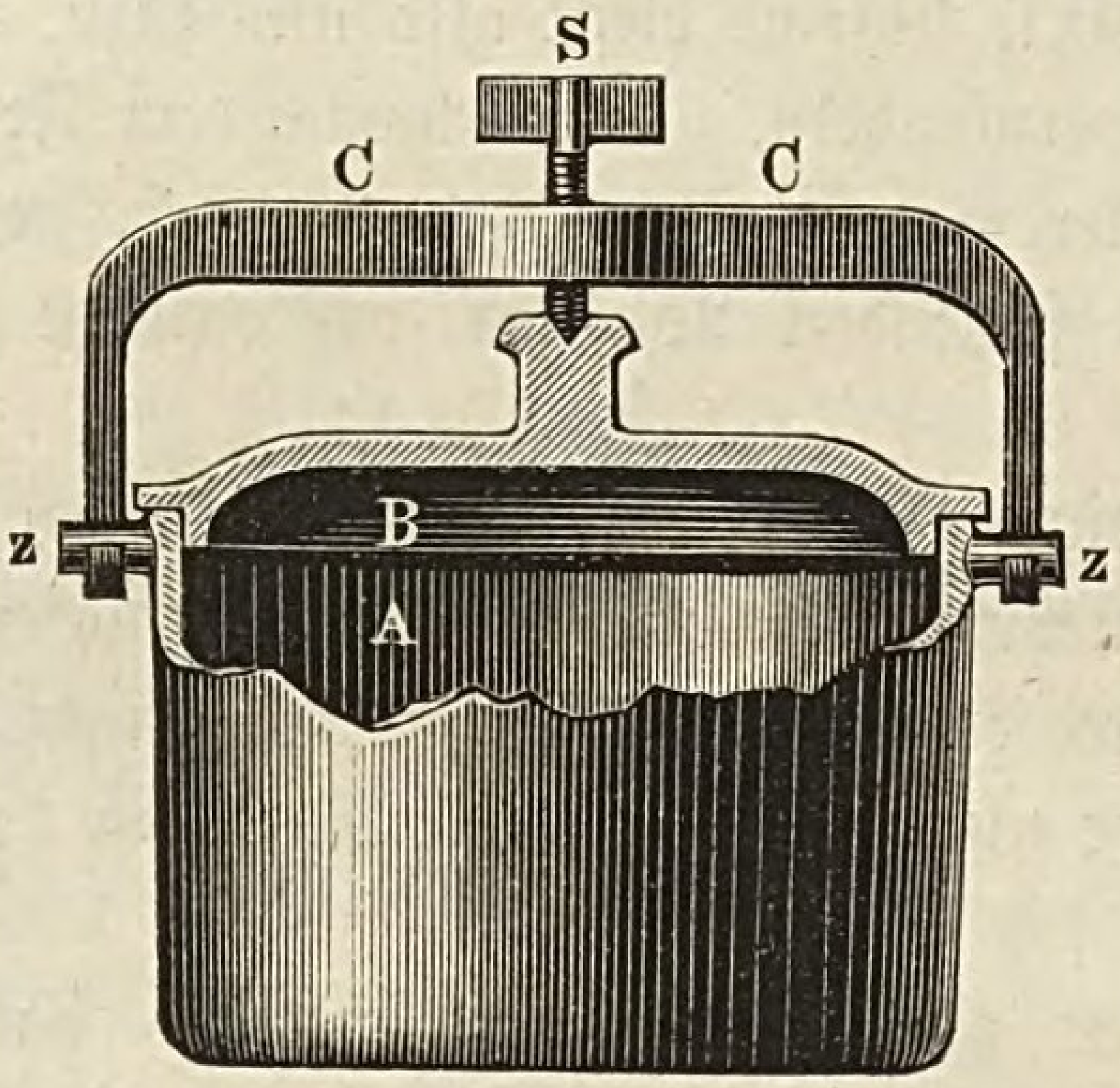
Wie verschiedene feste Körper nicht den gleichen Schmelzpunkt, so haben verschiedene Flüssigkeiten auch nicht den gleichen Siedepunkt. Hätte man in den Apparat Fig. 231 nicht Wasser, sondern Alkohol (wasserfreien Weingeist) eingefüllt, so würde das Thermometer beim Sieden der Flüssigkeit auf 78° C. steigen. In gleicher Weise ergiebt sich, daß der Siedepunkt des Aethers $37^{8}/_{10}$ Grad ist. Es würde übrigens sehr gefährlich sein, wenn man den Aether im Ballon Fig. 231 durch eine untergesetzte Weingeistlampe ins Sieden bringen wollte; um den Siedepunkt des Aethers zu bestimmen, würde man am besten thun, die Weingeistlampe ganz zu entfernen und den Apparat Fig. 231 in ein Gefäß mit Wasser zu tauchen, welches ungefähr bis auf 55° C. erwärmt ist. Der Siedepunkt des Terpentinöls ist 157° C.

Während der Schmelzpunkt eines Körpers von der Größe des Druckes, der auf ihm lastet, fast ganz unabhängig ist, ändert sich der Siedepunkt einer Flüssigkeit wesentlich, wenn der Druck sich ändert. Bei abnehmendem Druck sinkt der Siedepunkt, bei zunehmendem steigt er. Auf dem Rigi ist der mittlere Barometerstand nur 61 Centimeter und hier siedet das Wasser schon bei ungefähr 94° C. Unter der Glocke der Luftpumpe kann man Wasser zum Sieden bringen, dessen Tempe-

ratur nur 50, 30, 20 u. s. w. Grade beträgt. Umgekehrt wird durch die Steigerung des Druckes, welcher auf dem Wasser lastet, sein Siedepunkt erhöht. Während in dem Apparat Fig. 231 das Wasser bei 100° siedet, wenn der Dampf durch ein hinlänglich weites (2 bis 3 Millimeter) Röhrchen ausströmt, steigt der Thermometer auf 101°, 102, ja 103°, wenn die Mündung des Röhrchens zu einer feinen, $^1/_2$ bis $^1/_3$ Millimeter weiten Spitze ausgezogen ist. Damit der Dampf in gleicher Menge aus der feinen Spitze austreten kann, wie er erzeugt wird, muß der Dampfdruck im Innern des Ballons, also auch der Druck, welcher auf der Wasseroberfläche lastet, größer sein als der äußere Atmosphärendruck (wir werden darauf zurückkommen), und eine Folge davon ist die Erhöhung des Siedepunktes. In dem Apparat Fig. 231 kann man freilich die Erhöhung des Siedepunktes nicht weit treiben, weil man sonst Gefahr läuft, durch den verstärkten Druck im Innern den Kolben auseinander zu sprengen; in eisernen Dampfkesseln aber kann man, wenn das Ausströmen des Dampfes in entsprechender Weise erschwert wird, den Siedepunkt des Wassers auf 120, 140 und 160 u. s. w. Grad Celsius erhöhen.

Darauf beruht nun auch die Wirkung der bekannten Dampfkochtöpfe. In einem offenen Topf, aus welchem die Dämpfe frei abziehen können, kann man das Wasser, wie bereits bemerkt, nicht über 100° C. (oder 80° R.) erwärmen, wohl aber in einem Topf, welcher durch einen gut passenden Deckel verschlossen ist, wie der Topf *A*, Fig. 233, von Gußeisen oder Schmiedeeisen, dessen Rand oben eben abgeschliffen ist, und auf welchen ein gußeiserner Deckel *B* genau paßt. Dieser Deckel wird mittelst des schmiedeeisernen Bügels *C*, in welchen die an dem Topf *A* befindlichen Zapfen *z* eingehängt sind, durch die Schraube *S* fest auf den Rand des Topfes *A* aufgedrückt, so daß die in dem Topfe entwickelten Dämpfe nicht zwischen Deckel und Topf entweichen können.

Fig. 233.



In dem Deckel befinden sich zwei Oeffnungen, welche sammt den zugehörigen Vorrichtungen in Fig. 233 weggelassen, in Fig. 234 und Fig. 235 aber in $^1/_3$

Fig. 234.

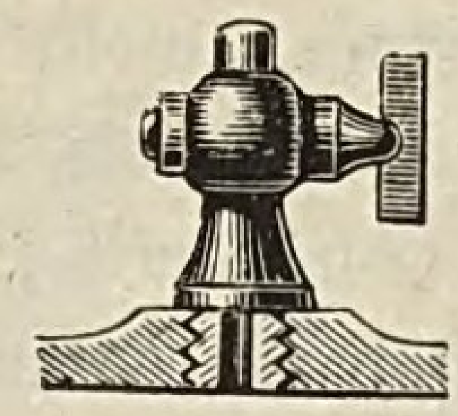


Fig. 235.

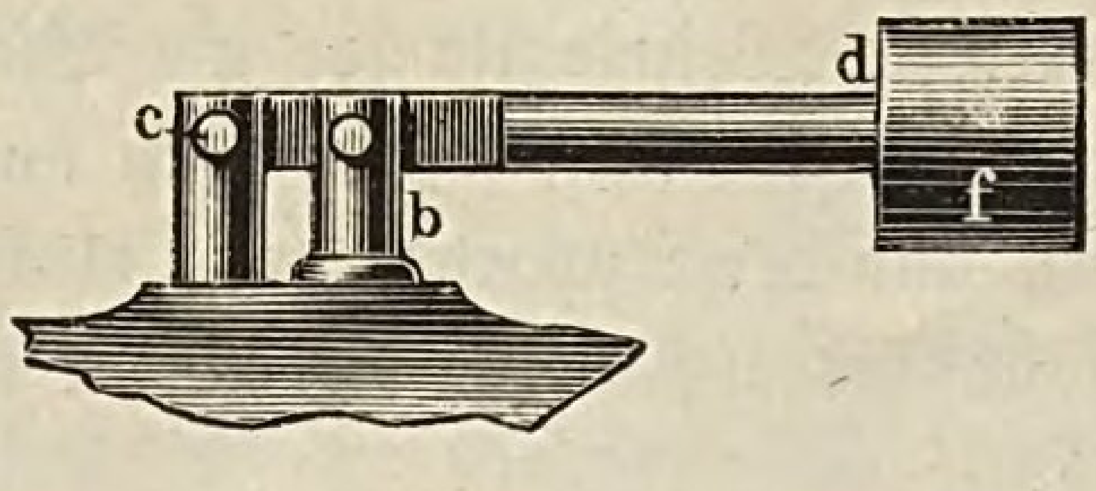
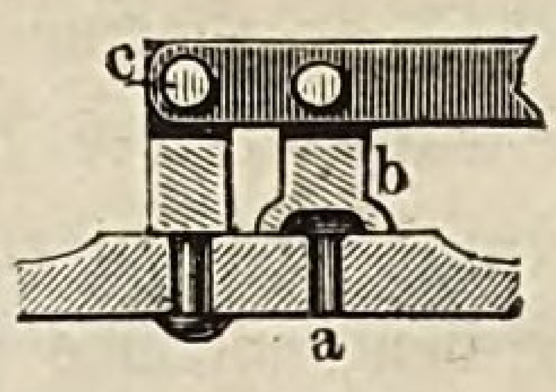


Fig. 236.



der natürlichen Größe dargestellt sind. In die erste Oeffnung ist ein kurzes durch einen Hahn verschließbares Röhrchen, Fig. 234, eingesetzt. Der Hahn wird geöffnet, wenn man den gespannten Dampf aus dem Topfe entlassen will. Die andere Oeffnung ist durch ein Sicherheitsventil geschlossen, welches verhindert, daß der Druck des eingeschlossenen Dampfes über gewisse Gränzen hinaus wachse und ein Zersprengen des Topfes veranlasse.

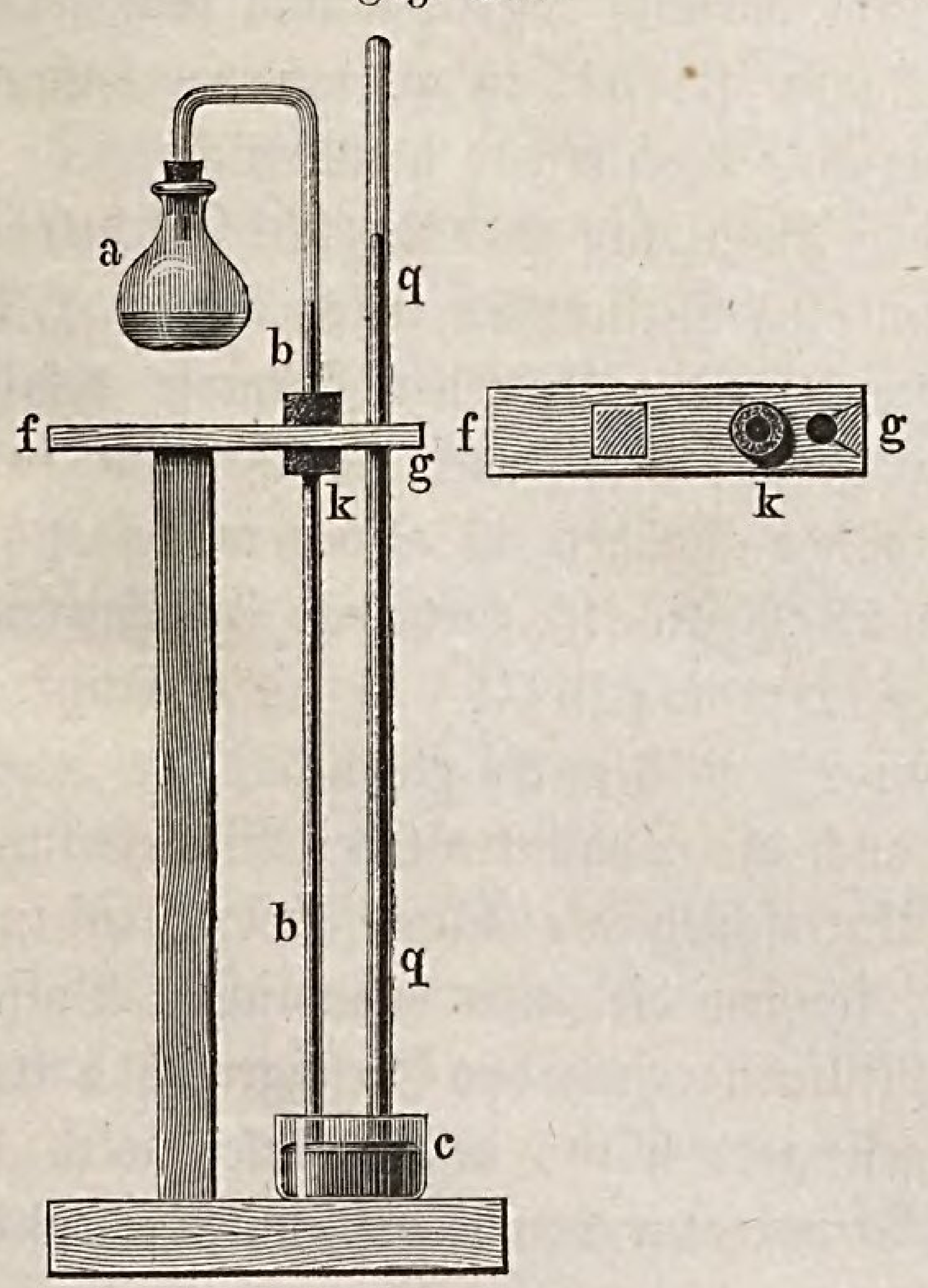
Fig. 235 und Fig. 236 erläutern die Einrichtung des Sicherheitsventils. An der Stelle des Deckels, in welcher die Oeffnung *a* angebracht ist, ist derselbe etwas verstärkt und seine obere Fläche eben abgeschliffen. Auf diese Fläche setzt sich der Fuß des unten etwas ausgehöhlten eisernen Säulchens *b*, welches mittelst eines Zapfens an den eisernen Hebelarm *cd* angehängt ist. Der Drehpunkt dieses Hebelarms, welcher an seinem anderen Ende das eiserne Gewicht *f* trägt, ist in *c*. Der durch *a* hervordringende, gegen die untere Fläche von *b* wirkende Druck strebt das Ventil zu heben, das am Hebelarm *cd* wirkende Gewicht *f* strebt es niederzudrücken und die Oeffnung *a* zu schließen. Das Gewicht *f* ist so bestimmt, daß das Ventil mit einer Kraft von 600 Gramm niedergedrückt wird; um es zu heben, muß also der gegen die untere $^3/_4$ Quadratcentimeter haltende Fläche von *b* wirkende Dampfdruck etwas über 600 Gramm betragen, was der Fall ist, wenn die Temperatur des Wassers im Kessel ungefähr auf 116° C. gestiegen ist. Wird diese Temperatur nur wenig überschritten, so wird das Ventil gehoben und eine entsprechende Menge Dampf entströmt dem Ventil (bläst ab), wodurch eine weitere Steigerung der Temperatur und des Dampfdrucks verhindert wird.

Wollte man die Temperatur des Wassers über 116° C. steigern, so müßte man das Gewicht *f* schwerer machen.

Oeffnet man den Hahn Fig. 234, so entströmt der Dampf massenhaft, was ein Sinken der Temperatur des Wassers im Topf bis auf 100 zur Folge hat.

Der Vortheil dieses Dampfkochtopfes besteht nun wesentlich darin, daß man in demselben das Wasser und die in demselben befindlichen Gegenstände einer weit höheren Temperatur aussetzen und dadurch in kürzerer Zeit größere Wirkungen erzielen kann, als es in einem offenen Topfe möglich ist. Eine Ersparniß an Brennmaterial ist vorzugsweise dadurch bedingt, daß das Entweichen der Dämpfe verhindert wird, welche eine große Menge Wärme für unsern Zweck ganz unnöthig mit fortführen.

Fig. 237.

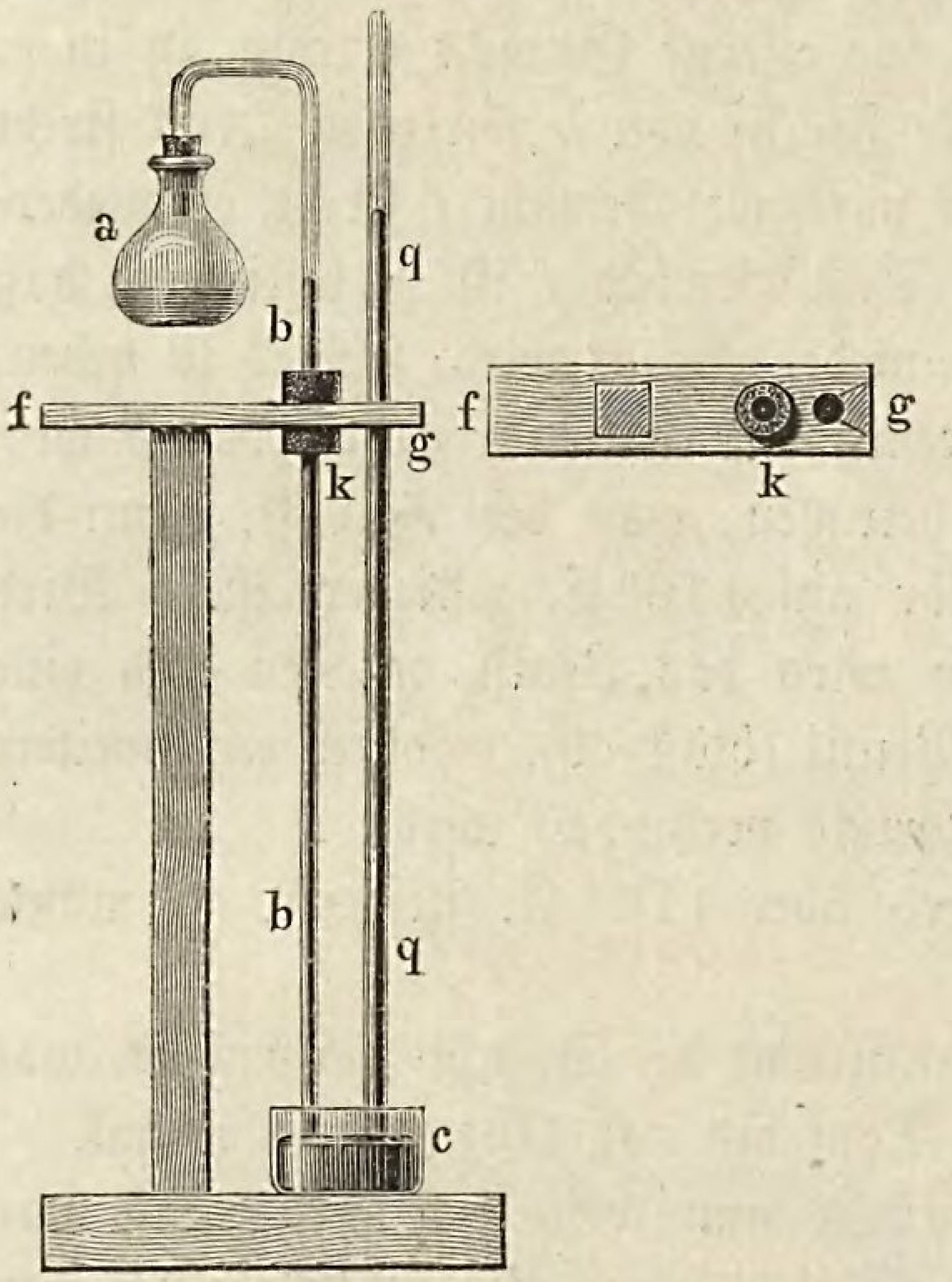


Spannkraft des Wasserdampfes bei niederer Temperatur. 97 Wir haben bereits gesehen, daß wenn ein ringsum geschlossenes, theilweise mit Wasser gefülltes Gefäß erwärmt wird, sich Dämpfe in seinem Innern entwickeln, welche gegen die Gefäßwände einen mit der Temperatur wachsenden Druck ausüben. Diesen durch den abgesperrten Dampf gegen die Gefäßwände ausgeübten Druck nennt man gewöhnlich die Spannkraft der Dämpfe; wir wollen dieselbe etwas näher betrachten.

Ein Glaskölbchen *a*, Fig. 237, von 50 bis 100 Kubikcentimeter Inhalt sei etwas über die Hälfte mit Wasser gefüllt und sein Hals mit einem sehr gut schließenden Kork geschlossen, in welchem eine nach unten

gebogene ungefähr 3 Millimeter weite Glasröhre *b* eingesetzt ist. Der vertical abwärts gebogene Theil der Röhre *b* sei gegen 85 Centimeter lang; sie läßt sich mit einiger Reibung in einem Korke *k* auf- und abschieben, welcher in einer entsprechenden Oeffnung des von einem Holzstab getragenen Brettchens *fg* eingesteckt ist. Die Röhre *b* wird so weit in die Höhe gezogen, daß ihre untere Mündung nicht mehr in das Quecksilber des Gefäßes *c* eingetaucht ist und dann das Wasser im Kochfläschchen *a* eine Zeitlang im Kochen erhalten. Die Dämpfe entweichen lebhaft aus der unteren Mündung des Rohres *b* und nehmen alle Luft mit, welche in *a* enthalten war. Nachdem das Kochen des Wassers in *a* eine Zeitlang unterhalten worden ist, wird die Röhre *b* herabgeschoben, bis ihre Mündung unter den Spiegel des Quecksilbers in *c* untergetaucht ist, und zugleich die Lampe unter *a* entfernt, welche bisher das Kochen des Wassers unterhielt.

Fig. 238.



Alsbald sieht man das Quecksilber bis zu einem bestimmten Punkte in dem Rohre *b* steigen, während das Kölbchen *a* nebst seinem Inhalt bis zur Temperatur der Umgebung erkaltet.

Um die Höhe der in *b* aufgesaugten Quecksilbersäule mit der Barometerhöhe zu vergleichen, kann man neben *b* eine Barometerröhre *q* (§. 55) in das Quecksilbergefäß *c* eintauchen, in eine Rinne des Brettchens *fg* einschieben und dieselbe durch einen passenden Riegel bei *g* schließen.

Vergleicht man die Quecksilbersäulen in *b* und *q*, so findet man, daß die in *b* weniger hoch steht, als die in *q*. Man sieht daraus, daß in *a* und dem oberen Theile der Röhre *b* keineswegs ein leerer Raum ist, wie in *q*, sondern daß sich hier Dampf befindet, welcher die Quecksilbersäule in *b* etwas herabdrückt.

Für den Fall, daß die Temperatur der Umgebung 20° R. (25° C.) beträgt, steht der Gipfel der Quecksilbersäule in *b* um 23 Millimeter tiefer als in *q*, die in *a* und dem oberen Theil der Röhre *b* bei 20° R. enthaltenen Dämpfe drücken also die Quecksilbersäule um 23 Millimeter herab, der Druck, welchen die in *a* enthaltenen Wasserdämpfe gegen die Gefäßwände ausüben, ist also gerade so stark, daß er dem Druck einer Quecksilbersäule von 23 Millimeter Höhe das Gleichgewicht halten würde, oder mit anderen Worten, bei 20° R. (25° C.) ist die Spannkraft der Wasserdämpfe einem Quecksilberdruck von 23 Millimeter gleich.

Bei abnehmender Temperatur nimmt auch die Spannkraft der Wasserdämpfe ab; bei 8° R. (10° C.) z. B. beträgt der Unterschied der Quecksilbersäulen in *b* und *q* nur noch 9 Millimeter. Bei 8° R. können die in *a* befindlichen Wasserdämpfe nur noch einer Quecksilbersäule von 9 Millimeter Höhe das Gleichgewicht halten.

Je mehr dagegen die Temperatur gesteigert wird, desto stärker wird die Quecksilbersäule in *b* niedergedrückt; ist die Temperatur von *a* bis zum Siedepunkt

des Wassers gesteigert, so wird die Quecksilbersäule in *b* bis zum Spiegel des Quecksilbers in *c* herunter gedrückt, für den Siedepunkt des Wassers ist die Spannkraft des Wasserdampfes dem Druck der Atmosphäre gleich.

Aus diesen Versuchen geht also hervor, daß sich auch unterhalb des Siedepunktes Wasserdämpfe bilden können, wie sich ja auch daraus ergiebt, daß selbst bei niedrigen Temperaturen noch Wasserdampf in der Luft verbreitet ist. Die Quantität des Wasserdampfes, welche möglicher Weise in einem Raum von 1 Kubikmeter (1 Stere) enthalten sein kann, beträgt nach Versuchen, die hier nicht besprochen werden können:

für	0°	Celsius	. . .	5	Gramm
„	5	„	. . .	7	„
„	10	„	. . .	10	„
„	15	„	. . .	13	„
„	20	„	. . .	17	„
„	30	„	. . .	29	„
„	40	„	. . .	49	„
„	100	„	. . .	595	„

In einem lufterfüllten Raum kann sich möglicherweise eben so viel Wasserdampf bilden, wie in einem gleich großen luftleeren, nur geht die Verbreitung des Wasserdampfes im lufterfüllten Raum weit langsamer vor sich; in 1 Kubikmeter Luft können also bei 20° Celsius 17 Gramm Wasserdampf enthalten sein. Enthält die Luft bei 20° C. in jedem Kubikmeter wirklich 17 Gramm Wasserdampf, so sagt man, die Luft sei mit Wasserdampf gesättigt; es kann sich in einer solchen Luft kein Wasserdampf mehr bilden, feuchte Gegenstände können nicht mehr trocknen.

Wenn aber die Luft bei 20° C. nur etwa 10 Gramm Wasserdampf enthält, so kann sie noch mehr Wasserdampf aufnehmen, an der Oberfläche von Wasser, welches mit solcher Luft in Berührung ist, bilden sich neue Dämpfe, feuchte Gegenstände geben ihren Wassergehalt leicht an die Luft ab, kurz, die Luft ist trocken, weil in ihr eine lebhafte Verdunstung stattfindet.

Wenn aber die nämliche Menge Wasserdampf (10 Gramm) bei 10° C. in jedem Kubikmeter Luft enthalten ist, so ist die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, es kann in derselben kein Wasser mehr verdunsten, feuchte Gegenstände trocknen nicht, und die geringste Temperaturerniedrigung hat feuchte Niederschläge, Thau oder Nebel, zur Folge. In diesem Falle nennen wir die Luft sehr feucht.

Wenn wir von feuchter oder trockner Luft reden, so verbinden wir damit keineswegs ein Urtheil über die Menge des Wasserdampfes in der Luft, sondern nur darüber, ob sie nahezu mit Wasserdampf gesättigt ist oder nicht. Bei gleichem Gehalt an Wasserdampf nennen wir die Luft feucht bei niederer, trocken bei hoher Temperatur.

Nach einem starken Regen, bei Nebel, ist die Luft mit Wasserdampf gesättigt, bei heiterem warmen Wetter ist sie meist ziemlich weit von ihrem Sättigungspunkt entfernt.

Mit dem Namen des Thaupunktes bezeichnet man die Temperatur, für welche die Luft mit dem eben in ihr enthaltenen Wasserdampf gerade gesättigt ist.

Enthält z. B. jeder Kubikmeter Luft 13 Gramm Wasserdampf, so ist dieselbe für 15° gesättigt, also 15° ist der Thaupunkt der Luft. So ist nach den auf Seite 195 gegebenen Tabellen 5°, 10°, 15°, 20° der Thaupunkt der Luft, wenn jedes Kubikmeter derselben 7, 10, 13, 17 Gramm Wasserdampf enthält.

Meistens ist die Temperatur der Luft höher als ihr Thaupunkt. Die Luft ist trocken, wenn ihre Temperatur viel höher, sie ist feucht, wenn ihre Temperatur nur unbedeutend höher ist als ihr Thaupunkt.

Wird die Luft unter ihren Thaupunkt erkaltet, so muß sich Wasser ausscheiden. Kommt die Luft in Berührung mit einem unter ihren Thaupunkt erkalteten Körper (Versuch auf Seite 189), so wird sich das aus den erkalteten Luftschichten ausgeschiedene Wasser in Form zarter Tröpfchen auf die erkaltende Fläche absetzen, wenn aber eine größere Luftmasse auf irgend eine Weise ihrer ganzen Ausdehnung nach unter ihren Thaupunkt erkaltet wird, so daß die im Innern der Luftmasse ausgeschiedenen Wassertheilchen sich nicht gleich an einen benachbarten festen Körper ansetzen können, so schweben die ausgeschiedenen Wassertheilchen als Wasserbläschen oder Wasserkügelchen in der Luft und bilden einen Nebel, welchen man als Wolke bezeichnet, wenn er nicht auf dem Boden aufliegt, sondern in höheren Luftregionen schwebt.

Wenn Nebel und Wolken allmälig dichter und dichter werden, wenn die zarten in der Luft schwebenden Wassertheilchen sich nach und nach zu Wassertropfen verdichten, so können diese nicht mehr in der Luft schweben, sie müssen in Form von Regen niederfallen.

98 **Spannkraft des Wasserdampfes bei hoher Temperatur.** Wir haben bereits im vorigen Paragraphen gesehen, daß die Spannkraft der Wasserdämpfe bei gewöhnlicher Lufttemperatur sehr gering ist, daß sie aber mit steigender Temperatur wächst, um beim Siedepunkt des Wassers gleich dem Druck der Atmosphäre zu werden.

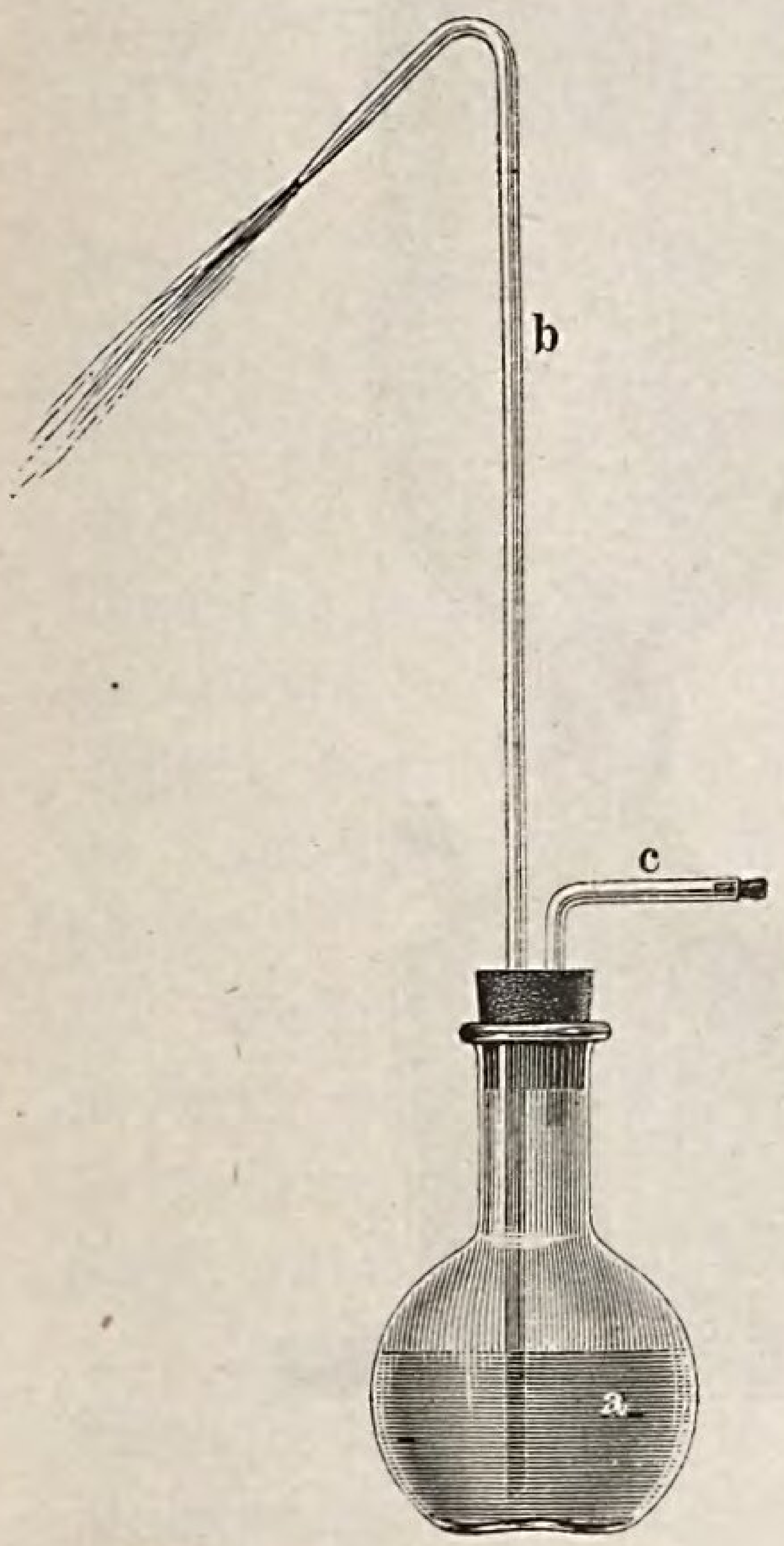
Der Kochtopf, Fig. 233, Seite 192, sei bis zu $^1/_3$ oder $^1/_2$ mit Wasser gefüllt und dieses bei geöffnetem Hahn ins Kochen gebracht, so ist bald alle Luft aus dem Kesselchen ausgetrieben und der Raum über dem Wasser nur noch mit Wasserdämpfen erfüllt, deren Spannkraft kaum merklich den Druck der Atmosphäre übertrifft; die Gefäßwände haben von innen und von außen fast gleichen Druck auszuhalten, von außen durch die Atmosphäre, von innen durch die Wasserdämpfe.

Schließt man nun den Hahn, so können keine Dämpfe mehr entweichen, die dem Topf fortwährend zugeführte Wärme kann also auch nicht mehr durch die Dämpfe fortgeführt werden, die Temperatur des Wassers steigt, zugleich aber auch die Spannkraft der Dämpfe im Topf, indem sich bei höherer Temperatur in dem gleichen Raum mehr Dämpfe bilden, bis endlich ihre Spannkraft groß genug wird, um das Sicherheitsventil zu heben. Das Wasser kocht nun unter höherem Druck.

Um die Zunahme der Spannkraft der Wasserdämpfe bei höherer Temperatur anschaulich zu machen, kann man den bereits auf Seite 190 besprochenen Apparat, Fig. 231, anwenden, nur setzt man in der zweiten Oeffnung des Korkes statt des Thermometers die luftdicht in die Oeffnung passende Glasröhre *b*, Fig. 239, ein,

welche, ungefähr 1 Meter lang, fast auf den Boden des Kochfläschens *a* reicht, oben umgebogen und zu einer etwas feineren Spitze ausgezogen ist.

Fig. 239.



Bringt man das Wasser ins Kochen während *c* geöffnet ist, so entströmen die Dämpfe in der bereits besprochenen Weise. Hat das Kochen lange genug fortgedauert, um alle Luft aus *a* mit fortzunehmen, so wird die Wärmequelle für einen Augenblick entfernt und die Röhre *c* rasch mit einem gut schließenden Stöpfchen verkorkt. In diesem Moment ist die Spannkraft der Dämpfe im oberen Theil von *a* gleich dem Druck der Atmosphäre. Wird die Lampe alsbald wieder untergesetzt, so bilden sich nun von Neuem Wasserdämpfe, welche nicht entweichen können, der Druck des abgesperrten Dampfes nimmt zu und durch den vermehrten Druck, welchen er auf die Oberfläche des Wassers *a* ausübt, treibt er dasselbe in der Röhre *b* in die Höhe, bis es endlich als ein feiner Wasserstrahl mit ziemlicher Gewalt aus der Mündung derselben hervorgetrieben wird.

Hier sehen wir deutlich, daß die Spannkraft der Dämpfe in *a* größer ist als der Druck der Atmosphäre, denn diesem entgegen, wird die Wassersäule in *b* gehoben und der Wasserstrahl aus der Mündung dieser Röhre hervorgetrieben.

Wenn man nach Verschluß des Röhrchens *c* die Lampe nicht wieder unterstellt, so wird *a* allmälig erkalten, und in Folge davon die Spannkraft der Dämpfe in *a* alsbald so weit abnehmen, daß Luftblasen durch die untere Oeffnung von *b* eindringen und durch das Wasser in *a* aufsteigen, um den luftverdünnten Raum in dem oberen Theil von *a* wieder auszufüllen.

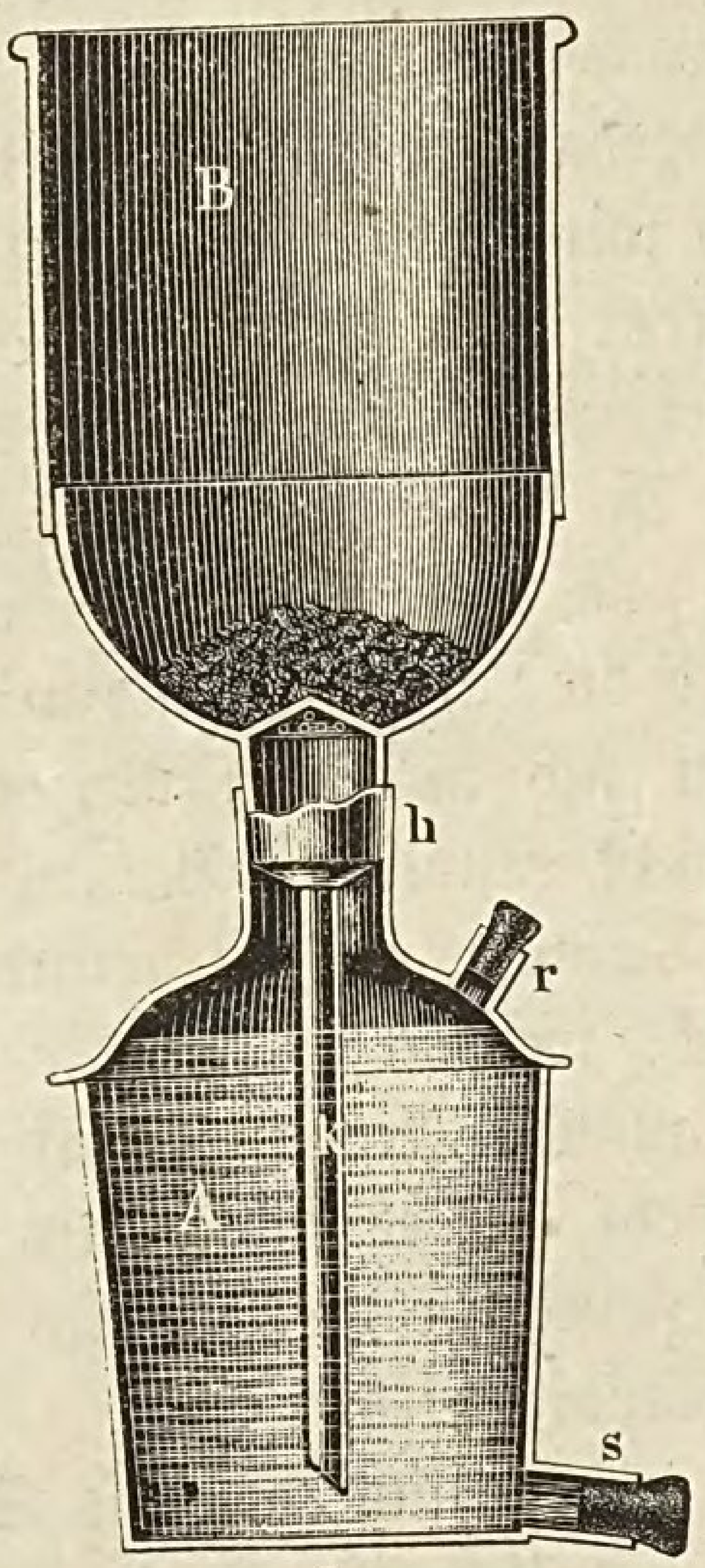
Durch die Aenderungen, welche die Spannkraft der Wasserdämpfe bei wechselnder Temperatur erleidet, erklärt sich auch das Spiel der Nörrembergischen Kaffeemaschine, welche Fig. 240 und Fig. 241 (a. f. S.) so darstellt, wie sie ganz in Blech ausgeführt wird. Das Kochgefäß *A* mündet oben in einen 33 Millimeter weiten Hals *h* und ist außerdem mit einem kürzeren Blechröhrchen *r* und einem längeren messingenen Abzugsrohre *s* versehen; *r* wird durch einen kleinen Korkstopfen, *s* durch einen Hahn geschlossen, statt dessen in unserer Figur der Einfachheit wegen gleichfalls ein Korkstopfen gezeichnet ist.

In den Hals *h* paßt luftdicht schließend ein kurzer Blechcylinder, an welchen sich unten die Blechröhre *k* ansetzt, welche nahe bis zum Boden von *A* hinabreicht, während sich oben eine Art Trichter, *B*, ansetzt, der von der Höhlung des blechernen Stopfens durch ein Sieb getrennt ist.

Um den Apparat zu gebrauchen, wird zunächst *s* geschlossen, *B* sammt der damit zusammenhängenden Röhre *k* abgehoben und *A* ungefähr so weit mit Wasser gefüllt, wie die Figur 240 zeigt. Dann wird *r* geschlossen, *B* sammt *k* auf-

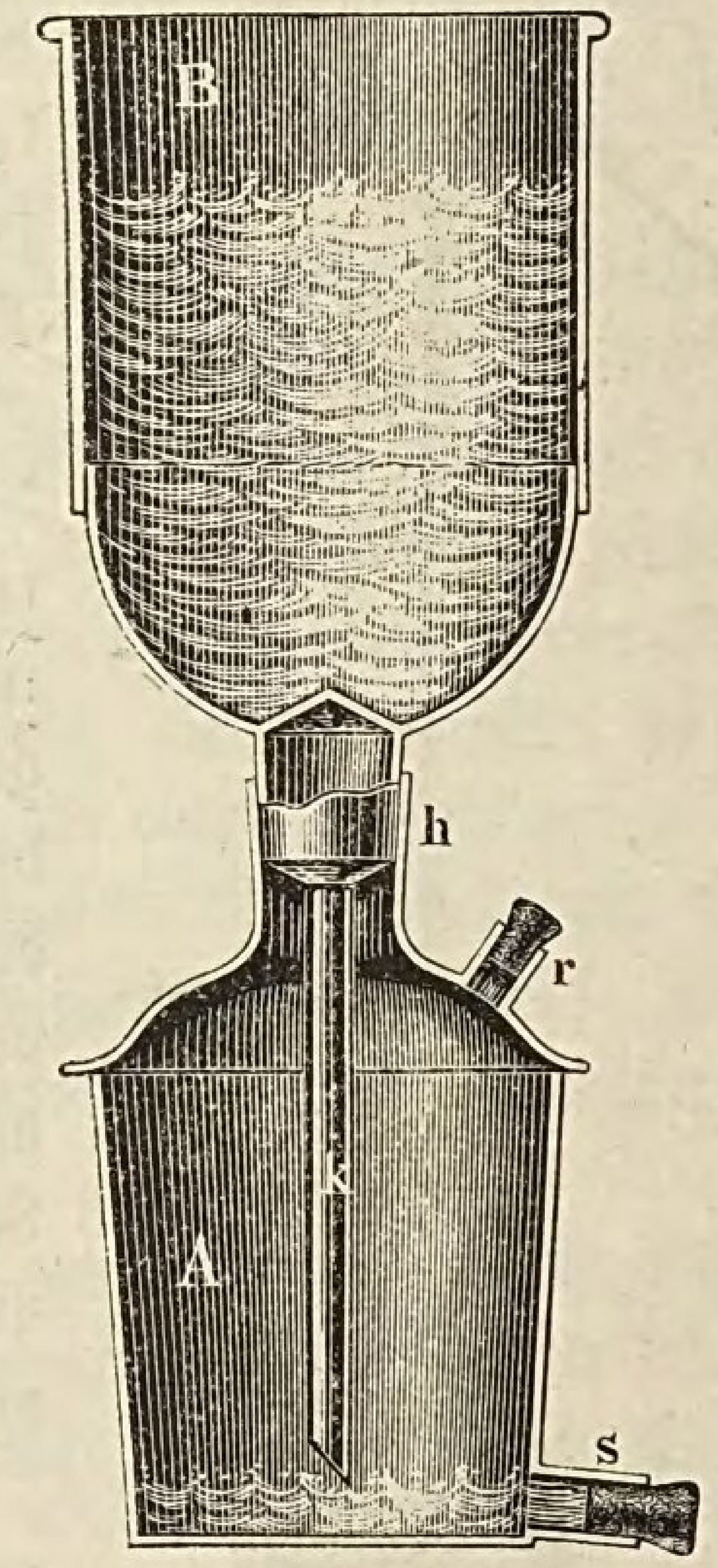
gesetzt und der gemahlene Kaffee auf das Sieb aufgeschüttet, wie Fig. 240 zeigt.

Fig. 240.



$\frac{1}{5}$

Fig. 241.



$\frac{1}{5}$

Wird nun A von unten her durch eine Weingeistlampe erwärmt, so werden sich die dadurch gebildeten Dämpfe in dem oberen Theil von A sammeln, und wenn ihre Spannkraft groß genug geworden ist, werden sie das Wasser aus A durch das Rohr k in den Trichter B treiben, bis die untere Mündung des Rohres k frei geworden ist, wie Fig. 241 zeigt. Nun geräth das wenige in A zurückgebliebene Wasser in heftiges Kochen, die Dampfblasen entweichen durch k und das Wasser in B, welches dadurch gleichfalls im Kochen erhalten wird.

Hat das Kochen 3 bis 5 Minuten lang gedauert, so wird die Weingeistlampe entfernt, das Kochen hört auf, die bisher lebhaft umhergewirbelten Kaffeebröckchen sinken nieder und sammeln sich auf dem Siebe. Alsbald werden nun auch die Dämpfe in A erkaltet und theilweise zu Wasser verdichtet, ihre Spannkraft nimmt ab, und durch den Druck der Luft, welcher auf der Flüssigkeit in B lastet, wird dieselbe durch den gemahlenen Kaffee auf dem Siebe und das Rohr k hindurch in den fast leeren Raum von A wieder hinunter gepreßt.

Ist alles Wasser wieder aus B nach A zurückgetreten, so wird r geöffnet und der fertige Kaffee aus dem Rohre s abgezapft.

In dieser Maschine ist also das Kochen des Kaffees mit dem Filtriren verbunden und daher die ausgezeichneten Wirkungen desselben.

Das einfache Princip obiger Kaffeemaschine hat man vielfach in verkünstelter Form in Anwendung gebracht, ohne damit irgend welche Vortheile zu erzielen.

Wir haben oben auf Seite 197 gesehen, wie durch vermehrte Spannkraft des Wasserdampfes in dem Kochfläschchen, Fig. 239, eine Wassersäule von unge-

fähr 1 Meter gehoben werden kann. Eine Wassersäule von 1 Meter Höhe ist aber einer Quecksilbersäule von ungefähr 7 Centimeter Höhe gleichwerthig. Eine Quecksilbersäule von 7 Centimeter Höhe entspricht aber nahezu dem 11. Theile des Atmosphärendrucks; wenn die Wassersäule im Rohre *b*, Fig. 239, um 1 Meter gehoben ist, so beträgt die Spannkraft des Dampfes im Innern des Kölbchens *a* $1^1/_{11}$ des Atmosphärendrucks.

Das ist nun freilich ein ziemlich geringer Ueberdruck des eingeschlossenen Dampfes in *a*; viel mehr darf man ihn aber hier nicht steigern, weil man sonst Gefahr läuft, das dünne Glasgefäß zu zersprengen. Um Wasserdampf von stärkerer Spannkraft zu erzielen, muß man eben Gefäße von größerer Wandstärke anwenden, wie dies bei eisernen oder kupfernen Kesseln der Fall ist. In kleinem Maaßstab stellt uns der Kochtopf, Fig. 233, Seite 192, einen solchen Kessel dar, in welchem die Spannkraft des Dampfes so weit getrieben werden kann, daß das Sicherheitsventil gehoben wird. Es erfolgt dies, wenn der Ueberdruck des Dampfes im Topf ungefähr $^7/_{10}$ Atmosphären, also seine Spannkraft $1^7/_{10}$ Atmosphären beträgt.

Wollte man die Spannkraft des Dampfes im Kochtopf noch mehr steigern, so dürfte man nur das Gewicht *f* des Sicherheitsventils vermehren. Eine starke Vermehrung des Gewichtes *f* ist aber nicht zu rathen, weil man sonst Gefahr läuft, den Kessel zu zersprengen.

In geeigneten, hinlänglich starken Kesseln läßt sich aber die Spannkraft des Dampfes so weit steigern, daß sie dem Druck von 2, 3, 4 .... 10 Atmosphären gleichkommt, daß also jeder Quadratcentimeter der inneren Kesselfläche einen nach außen gerichteten Druck von 2, 3, 4 .... 10 Kilogrammen (§. 56) auszuhalten hat. Bei zu sehr gesteigerter Spannkraft muß der Kessel endlich springen.

Fig. 242.

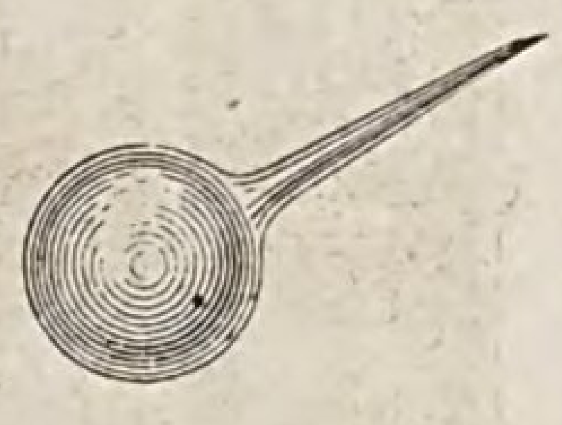


Fig. 243.



Eine zu einer feinen Spitze ausgezogene Glaskugel, Fig. 242, von 8 bis 12 Millimeter Durchmesser werde zum Theil mit Wasser gefüllt und dann die Spitze zugeschmolzen. Dieses Kügelchen legt man alsdann in ein eisernes übrigens leeres Schälchen, Fig. 243, von Eisenblech, welches auf einen entsprechenden Dreifuß gesetzt und mit einem Stück Blech zugedeckt wird. Bringt man nun eine Weingeistlampe unter das Schälchen, so werden bei steigender Temperatur sich mehr und mehr Wasserdämpfe im Innern der kleinen Glaskugel bilden, deren Spannkraft endlich so groß wird, daß sie die Glaskugel zersprengen.

Wir haben hier eine Dampfkesselexplosion im Kleinen. Das Umherschleudern der Glassplitter wird durch das aufgedeckte Blechstück verhindert.

Die wichtigste Anwendung, welche man von der Spannkraft der Wasserdämpfe bei hoher Temperatur gemacht hat, sind die Dampfmaschinen. Es kann hier natürlich nicht die Rede davon sein, dieselben auch nur einigermaaßen eingehend zu besprechen, wir müssen uns darauf beschränken, zu zeigen, in welcher Weise die Spannkraft der Dämpfe in denselben zur Wirkung kommt.

Der Haupttheil einer jeden Dampfmaschine ist ein hohler Cylinder, in welchem sich luft- und dampfdicht schließend ein Kolben hin und her bewegen läßt.

In dem Cylinder *C*, Fig. 244, bewegt sich der Kolben *k* auf und ab. Der von dem Kessel kommende Dampf gelangt zunächst durch die Röhre *r* in den kleinen Dampfraum *D*, von welchem ein bei *g* mündender Canal nach dem unteren, ein bei *f* mündender nach dem oberen Ende des Cylinders führt. In *D* befindet sich aber noch ein Schieber, dessen Gestalt aus Fig. 245 besser zu ersehen ist, der je nach seiner Stellung den Zufluß des Dampfes abwechselnd in den unteren und dann wieder in den oberen Theil des Cylinders gestattet.

Fig. 244 stellt den Kolben im Aufgang dar. Von *D* aus strömt der Dampf über *g* in den unteren Theil des Cylinders und treibt den Kolben nach oben. Der Dampf, welcher vorher auf der oberen Seite des Kolbens gewirkt hat, entweicht von *f* aus durch die Höhlung des Schiebers nach *a*, um von hier aus ins Freie auszuströmen.

Auf die obere Fläche des Kolbens *k* wirkt also der Druck der Atmosphäre, von unten her drückt die Spannkraft des Dampfes gegen den Kolben. Beträgt nun z. B. die Spannkraft, welche von unten her gegen den Kolben drückt, z. B. 5 Atmosphä-

Fig. 244.

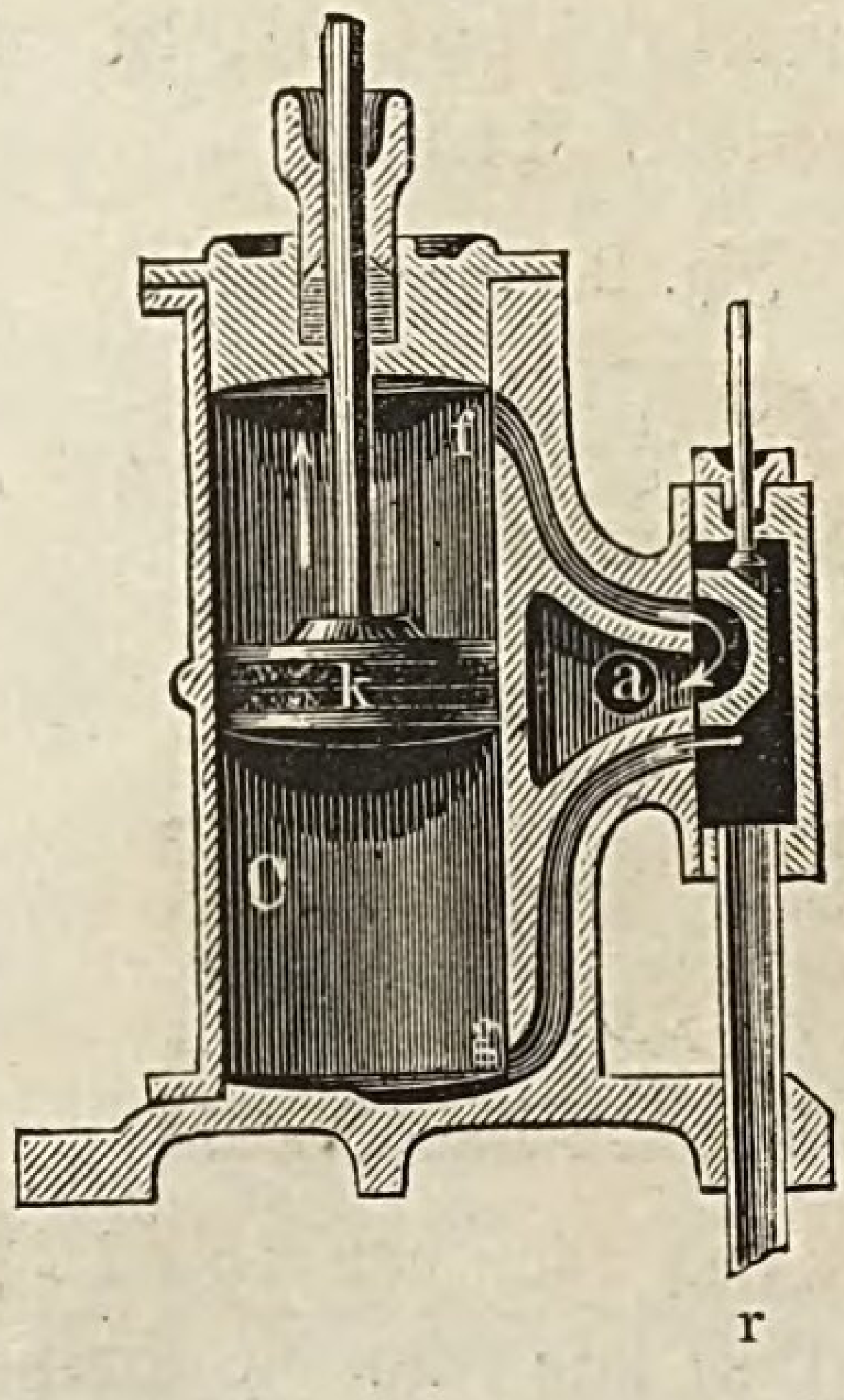


Fig. 245.

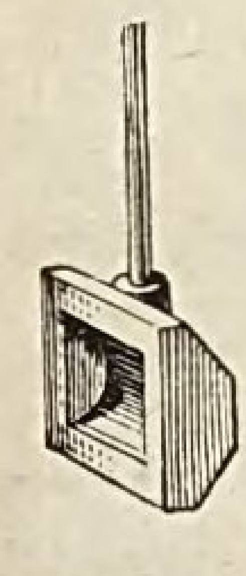
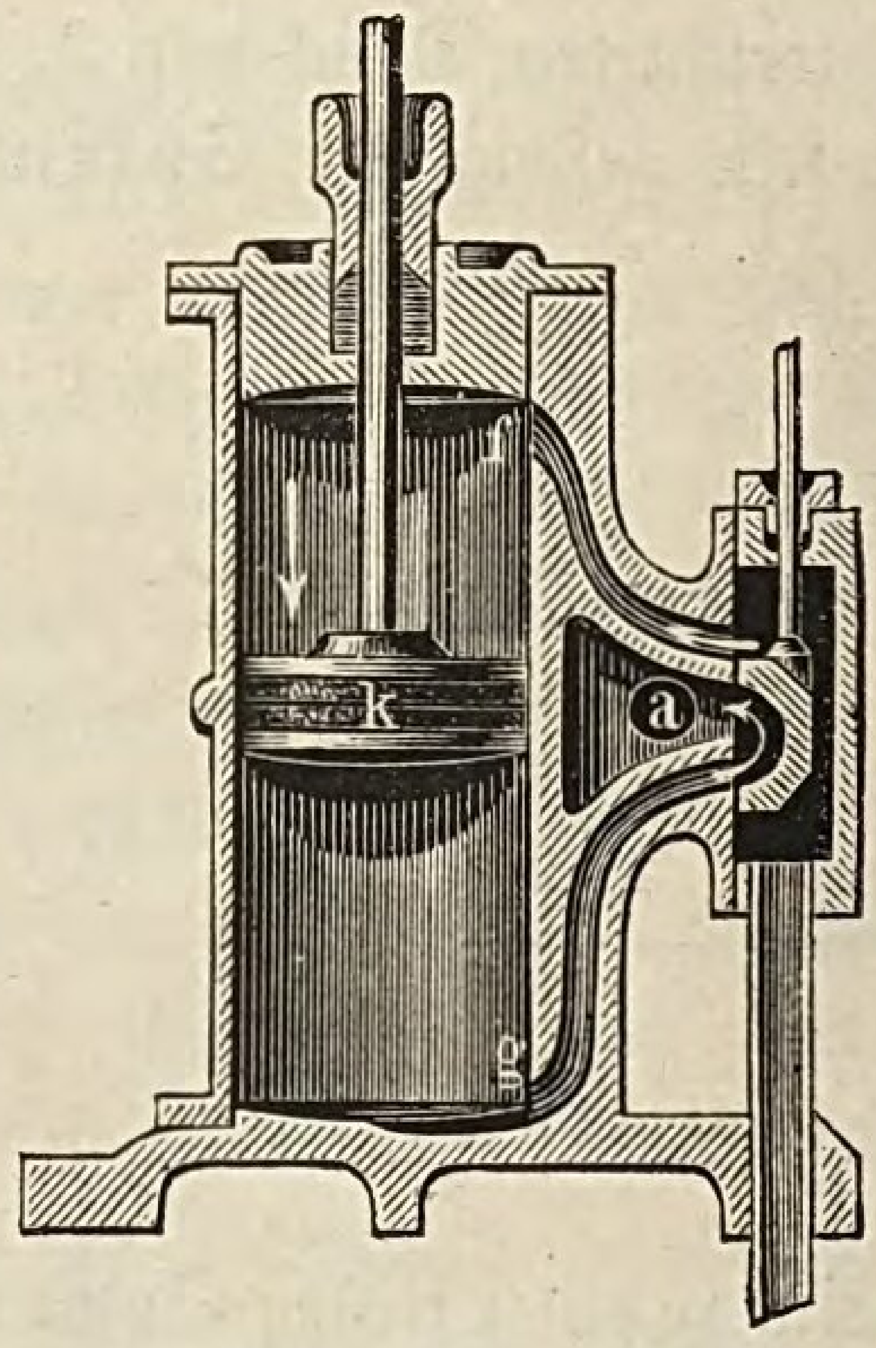


Fig. 246.



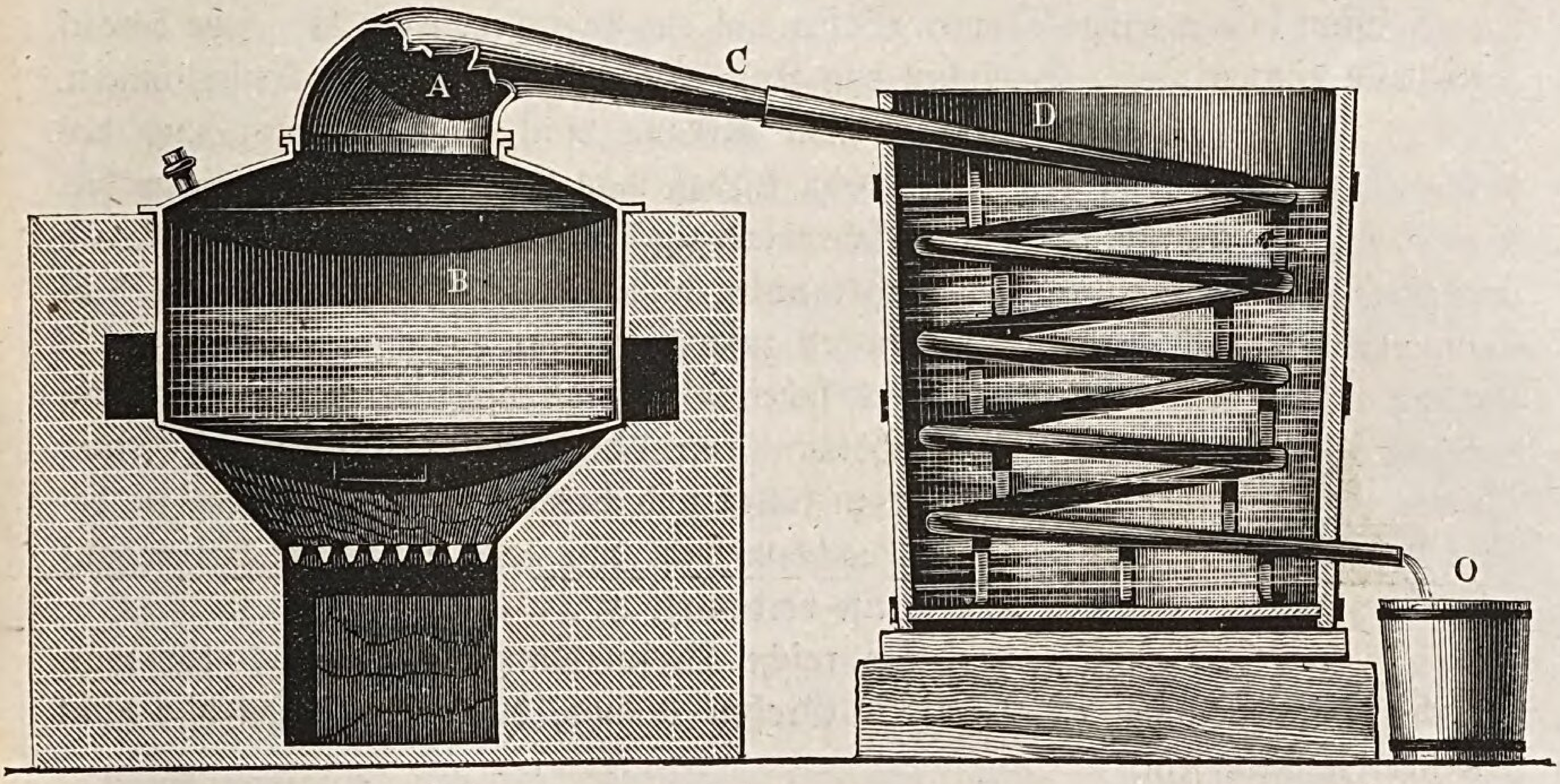
ren, so wird der Kolben mit einer Kraft von 4 Atmosphären in die Höhe gedrückt. Wenn der Kolben oben angekommen ist, wird der Schieber durch einen Mechanismus, welcher hier nicht besprochen werden kann, herabgedrückt und in die Lage Fig. 246 gebracht. Nun strömt der Dampf oben bei *f* ein und der gebrauchte Dampf unter dem Kolben entweicht über *g* und *a* ins Freie; der Kolben wird jetzt mit einer Kraft von 4 Atmosphären niedergedrückt.

Wie die auf- und niedergehende Bewegung des Kolbens weiter fortgepflanzt wird, kann hier nicht näher besprochen werden.

Verdampfungswärme. Beim Verdampfen einer Flüssigkeit wird in ähnlicher Weise Wärme gebunden, wie beim Schmelzen fester Körper, wie dies schon aus dem in Fig. 231, Seite 190, dargestellten Versuche hervorgeht. Alle Wärme, welche während des Kochens dem Inhalt des Gefäßes zugeführt wird, dient nur dazu, das Wasser von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln; die ganze während des Kochens dem Wasser zugeführte Wärme erscheint also für das Thermometer verloren. In 1 Gramm Wasserdampf von 100° ist demnach wesentlich mehr Wärme enthalten, als in 1 Gramm Wasser von 100°. 99

Alle Wärme, welche beim Verdampfen einer Flüssigkeit gebunden wird, muß wieder frei werden, wenn der Dampf in den tropfbar flüssigen Zustand zurückkehrt. Es läßt sich dies sehr leicht an den sehr häufig verwendeten Destillirapparaten nachweisen. Fig. 247 stellt einen solchen dar. Die durch Destillation von Verunreinigungen zu trennende Flüssigkeit befindet sich in der meist aus Kupferblech verfertigten Blase *B*, Fig. 247. Auf dieser sitzt der Helm *A*, welcher mit einem in das Kühlrohr *D* mündenden Rohre *C* versehen ist. Das schraubenförmig gewundene Kühlrohr befindet sich in einem mit kaltem Wasser gefüllten Bottig. Die Dämpfe, welche in *B* durch das darunter angebrachte Feuer gebildet werden, ziehen durch *A* und *C* nach dem Kühlrohr *D* ab und werden in demselben durch den Einfluß des umgebenden kalten Wassers wieder zu Flüssigkeit verwandelt, welche bei *O* abfließt.

Fig. 247.



Alle Wärme nun, welche bei der Verdampfung in *B* gebunden wird, wird durch die Verdichtung der Dämpfe im Schlangenrohr *D* wieder frei und an das Kühlwasser abgegeben, dessen Temperatur in Folge dessen rasch steigt. Da aber warmes Wasser ein geringeres Eigengewicht hat als kaltes, so steigt das warme Wasser im Kühlbottig in die Höhe, während sich das kältere am Boden des Kühlbottichs befindet. Um zu machen, daß die Verdichtung der Dämpfe im Kühlrohr vollständig fortgehe, sorgt man dafür, daß das warme Wasser aus dem Kühlbottich oben abfließt, während unten in gleichem Maaße kaltes Wasser einströmt.

100 **Kälte durch Verdampfung.** Wenn eine rasche Verdampfung stattfindet, ohne daß die dazu nöthige Verdampfungswärme in gleicher Zeit von außen zugeführt wird, so muß dieselbe aus der verdampfenden Flüssigkeit selbst und ihrer nächsten Umgebung entnommen werden, ihre Temperatur muß sinken.

Man schütte einige Tropfen Schwefeläther auf die innere Handfläche; alsbald wird man eine namhafte Erkaltung spüren, weil der Aether rasch verdampft und die dazu nöthige Verdampfungswärme der Hand entzieht.

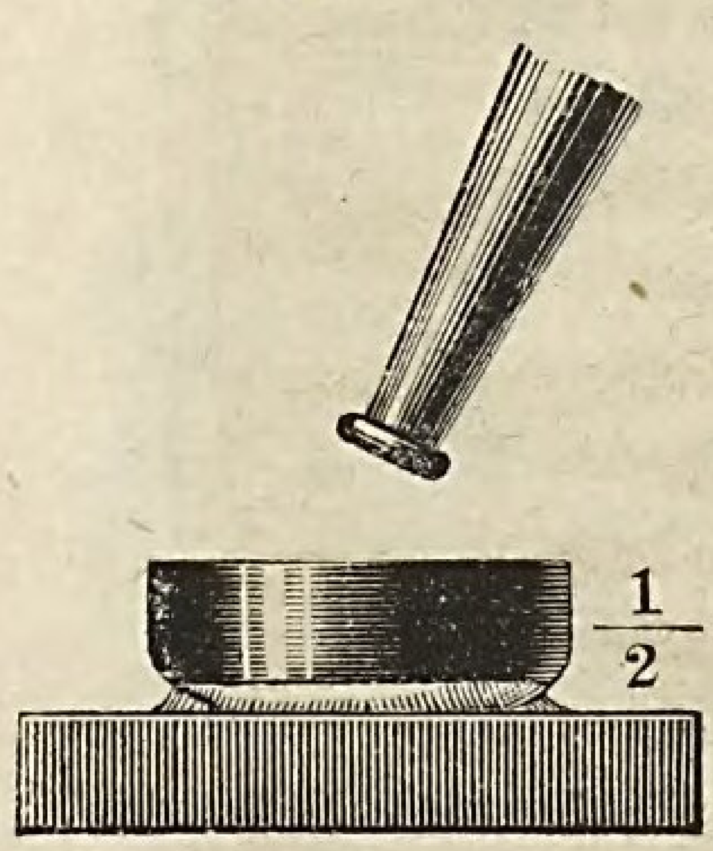
Stellt man denselben Versuch mit Weingeist an, so ist das Kältegefühl der Hand geringer, weil eben der Weingeist nicht so rasch verdunstet, wie der Aether. Weil das Wasser noch weniger rasch verdampft als der Weingeist, so ist das Gefühl der Erkaltung noch geringer, wenn man den Versuch in gleicher Weise mit Wasser anstellt.

Wenn man etwas geschwitzt in Zugluft tritt, so fühlt man eine namhafte Abkühlung, obgleich, wie das Thermometer zeigt, die an uns vorüberwehende Luft nicht kälter ist als die Luft an einem benachbarten vor Zug geschützten Orte. Das Gefühl von Kälte rührt nur daher, daß in der bewegten trockenen Luft eine raschere Verdunstung des Schweißes stattfindet als in ruhiger Luft, daß also auch in gleicher Zeit der Haut mehr Verdunstungswärme entzogen wird.

Dadurch erklärt sich auch, warum wir eine Abkühlung fühlen, wenn wir uns mit einem Fächer Luft zuwehen, die ja doch nicht im mindesten kälter ist als die Luft unserer ganzen Umgebung.

Man bringe einige Tropfen Wasser auf ein Brettchen, Fig. 248, setze darauf ein recht dünnwandiges Schälchen von Kupferblech und gieße etwas Aether hinein.

Fig. 248.



Bewirkt man alsdann eine rasche Verdampfung des Aethers dadurch, daß man vorsichtig mit einem gewöhnlichen Küchenblasbalge darauf bläst, so gefriert alsbald das Wasser unter dem Schälchen, so daß es mit dem Brettchen fest zusammenhängt.

Des sichereren Erfolgs wegen wird man gut thun, das Schälchen von Neuem mit Aether zu $^3/_4$ seines Inhalts zu füllen und das Blasen von Neuem zu beginnen, nachdem man eine erste Quantität Aether auf diese Weise verdampft hat.

Die rasche Verdampfung des Aethers hat man auch zur Darstellung des Eises im Großen benutzt, doch kann davon hier nicht weiter die Rede sein.

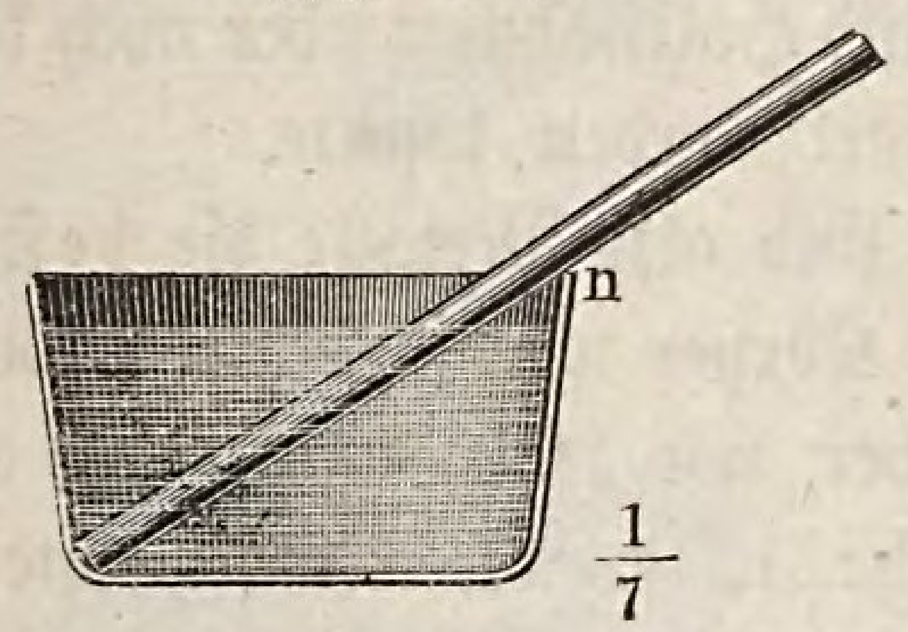
101 **Wärmeleitung.** Wenn man einen kalten Körper mit einem heißen in Berührung bringt, so geht die Wärme aus dem letzteren in den ersteren über, und die Temperatur des vorher kalten Körpers wird nach und nach erhöht, indem die an seinem erhitzten Ende aufgenommene Wärme sich von Theilchen zu Theilchen fortpflanzt.

In irgend ein Gefäß mit kochendem Wasser tauche man gleichzeitig einen silbernen und einen nahezu gleich großen hölzernen Löffel ein, so wird nach kurzer Zeit der Griff des silbernen Löffels so heiß geworden sein, daß man ihn kaum

anfassen kann, während der Griff des hölzernen Löffels kaum eine Temperaturerhöhung wahrnehmen läßt.

Hat man keinen silbernen Löffel zur Hand, so läßt sich der Versuch in noch mehr überzeugender Weise in folgender Art anstellen: In ein blechernes mit heißem Wasser gefülltes Kochgefäß, Fig. 249, tauche man ein 20 bis 25 Centimeter langes ungefähr 5 Millimeter dickes Stäbchen von Kupfer, ferner ein solches von Eisen, eines von Glas und eines von Holz, welche nahezu die gleichen Dimensionen haben, wie das Kupferstäbchen. Wird nun das Wasser im Gefäße durch eine untergesetzte Weingeistlampe im Kochen erhalten, so wird nach etwa 8 Minuten das aus dem Wasser hervorragende Ende des Kupferstäbchens so heiß geworden sein, daß man es kaum anfassen kann, während man am Eisen eine weit geringere Temperaturerhöhung und am Holz- oder Glasstab keine solche wahrzunehmen im Stande ist.

Fig. 249.



$\frac{1}{7}$

Das Kupfer nimmt also die Wärme aus dem heißen Wasser weit leichter auf, die Wärme verbreitet sich in demselben leichter als im Eisen, das **Kupfer ist ein besserer Wärmeleiter als Eisen**. Weit schlechter aber als Eisen ist das Glas und das Holz im Stande, die Wärme zu leiten, **Holz und Glas sind sehr schlechte Wärmeleiter**.

Statt die Finger zu gebrauchen, um sich von dem Erwärmungszustande der aus dem heißen Wasser hervorragenden Stabstücke zu überzeugen, ist es zweckmäßiger, dieselben mit einer Schicht von Wachs oder noch besser von **Paraffin** zu überziehen*). Wenn der Ueberzug am Kupferstäbchen oben bis zum äußersten Ende fortgeschmolzen ist, so ist die Schmelzung am Eisenstäbchen kaum um den fünften Theil so weit fortgeschritten, am Glas- und Holzstäbchen aber hat sie kaum begonnen.

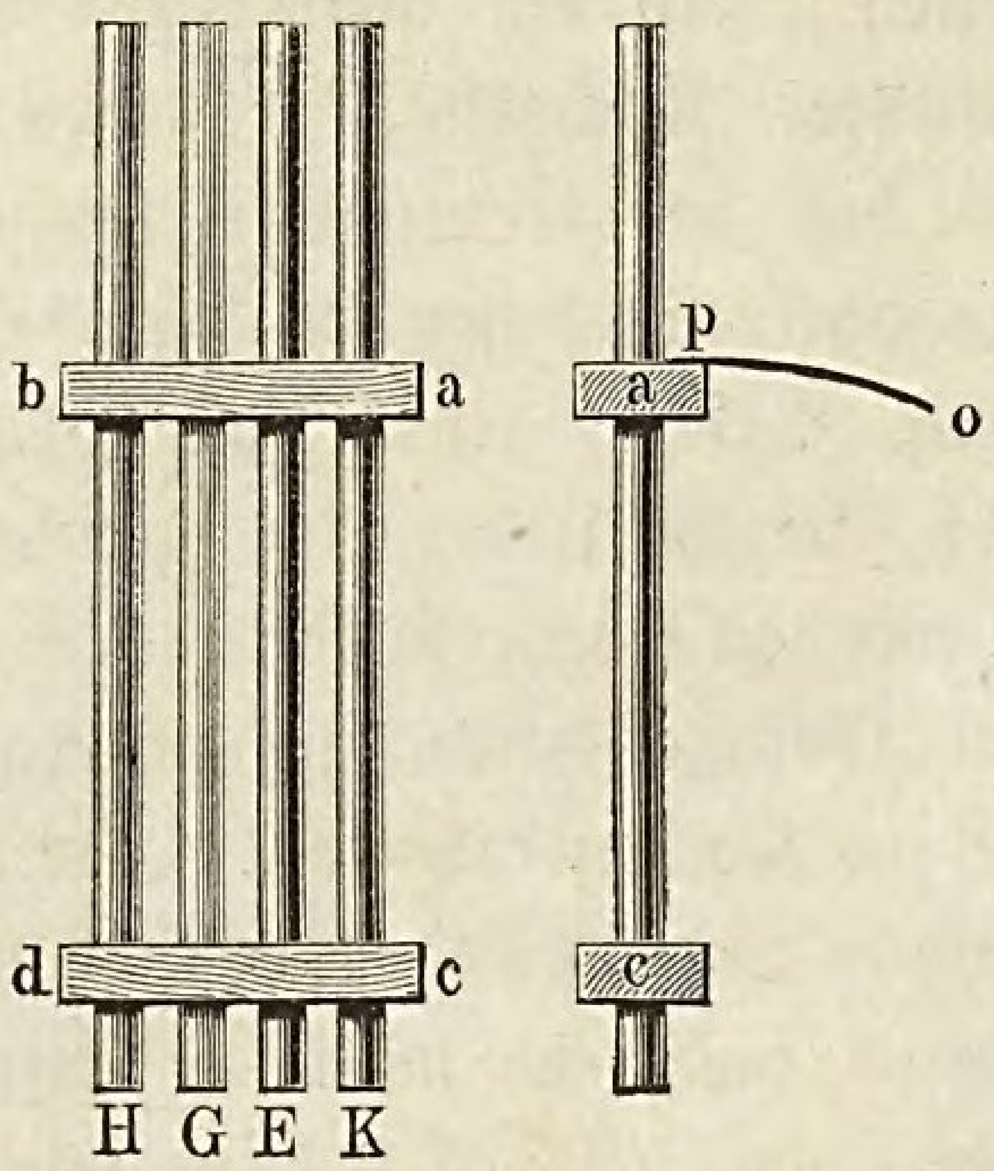
Wenn man diesen Versuch einfach in der durch Fig. 249 erläuterten Weise anstellt, so wird er dadurch ungenau, daß die Stelle des Stabes bei n, welche zunächst über den Rand des Gefäßes hervorragt, von den warmen Luftströmungen getroffen wird, welche von der Gefäßwand aufsteigen, und daß hier das Paraffin an der unteren Seite des Stäbchens schon schmilzt, ohne daß die Wärme durch Leitung bis an diese Stelle vorgedrungen sein kann. Um dies zu vermeiden, kann man folgende Vorrichtungen anwenden. Die vier 20^{cm} langen Stäbchen sind in der durch Fig. 250 und Fig. 251 (a. f. S.) erläuterten Weise in die Holzbrettchen ab und cd eingesteckt, für welche man auch sehr wohl Korkholz anwenden kann. ab ist so angebracht, daß es gerade auf den Rand des Gefäßes, Fig. 249, zu liegen kommt, und um zu verhindern, daß die von der Gefäßwand aufsteigende warme Luft den Ueberzug der Stäbchen trifft, ist auf der Rückseite des Brettchens ab ein Papierstreifen po, Fig. 251, aufgeleimt. Der über ba liegende Theil des Stäbchens ist mit Pa-

---

*) Um die Stäbchen mit Wachs oder Paraffin zu überziehen schmilzt man den entsprechenden, von einer Kerze entnommenen Stoff über einer Weingeistlampe in einem ungefähr 10 Centimeter langen Reagenzröhrchen und taucht das zu überziehende Ende des Stäbchens in die geschmolzene Masse ein, um es sogleich wieder herauszuziehen.

raffin überzogen. Bei einem derartigen Versuch war am Kupferstäbchen schon 5 Minuten nach dem Eintauchen der Vorrichtung in heißes Wasser, die Schmelzung des Paraffins bis ans obere Ende vorgeschritten, während sie am Eisenstäbchen nach 10 Minuten sich erst auf eine Länge von 25 Millimeter erstreckte, am Glas- und Holzstäbchen aber noch keine Schmelzung beobachtet werden konnte.

Fig. 250. Fig. 251.



Im Allgemeinen sind also Metalle die besten, stein- und glasartige Körper weit schlechtere, lockere organische Stoffe aber, wie Holz, namentlich aber Wolle, Stroh, Asche u. s. w., die schlechtesten Wärmeleiter.

Wenn ein Stück Eisen und ein Stück Holz eine kalte Winternacht hindurch im Freien gelegen haben, so haben sie gewiß gleiche Temperatur, und doch fühlt sich das Eisen weit kälter an als das Holz, weil das Eisen als besserer Wärmeleiter der Hand die Wärme weit rascher entzieht als das Holz.

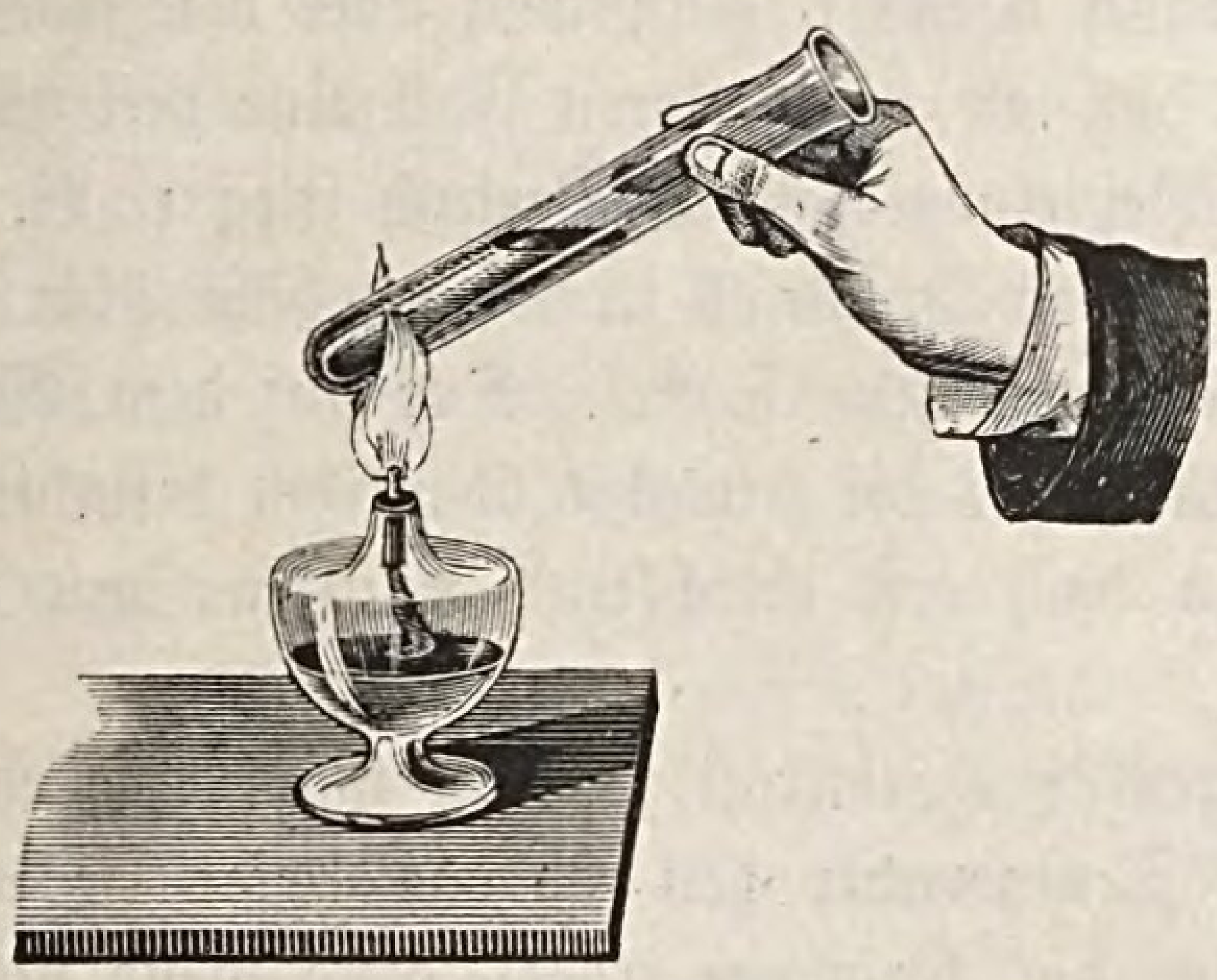
Man sagt, daß die wollenen Kleider, die wir tragen, warm halten. Damit ist aber durchaus nicht gesagt, daß sie in irgend einer Weise Wärmequellen sind, daß sie Wärme zu erzeugen vermögen; ihre Wirkung beschränkt sich lediglich darauf, die Wärme des Körpers, den sie umgeben zusammenzuhalten, indem sie ihr den Durchgang zu der kälteren Luft erschweren. Aus dem gleichen Grunde werden auch Pflanzen, die man vor der Winterkälte schützen will, mit Stroh umhüllt oder bedeckt, um das Entweichen der in ihnen noch vorhandenen Wärme zu verhindern. Daß hier das Stroh als schlechter Wärmeleiter lediglich dazu dient, den Durchgang der Wärme zu erschweren, geht auch daraus hervor, daß man Eis, welches man in unseren Eiskellern vor der Schmelzung schützen will mit Stroh umgiebt und bedeckt, weil dadurch das Eindringen der Wärme von außen verhindert wird. Das Eis, welches von Nordamerika aus in wärmere Gegenden versendet wird, ist in Sägespähne verpackt, welche gleichfalls sehr schechte Wärmeleiter sind.

In einem metallenen Gefäß bringt man das Wasser weit leichter ins Kochen, als in einem irdenen oder porzellanenen. — Eiserne Oefen werden schneller heiß, sie verlieren aber auch die Wärme weit rascher als irdene. — Um sich beim Anfassen heißer metallener Geräthschaften, z. B. der Ofenthüren, vor dem Verbrennen zu schützen, versieht man sie mit Holzgriffen. Will man ein Probirgläschen, während eine Flüssigkeit darin kocht, in der Hand halten, so umwickle man es an der Stelle, wo man es anfaßt, mit Papier oder Bindfaden, damit sich ein schlechter Leiter zwischen dem heißen Glas und dem Finger befindet u. s. w.

Auf den ersten Anblick könnte es scheinen, als ob das Wasser ein guter Leiter der Wärme wäre, denn wenn man in einem metallenen Gefäße Wasser aufs Feuer setzt, so macht sich die Erwärmung der oberen Wasserschichten sehr bald merklich. Es ist dies aber nicht eine Folge der Wärmeleitung des Wassers, sondern eine Folge der Strömungen, welche sich in seiner Masse bilden. Das

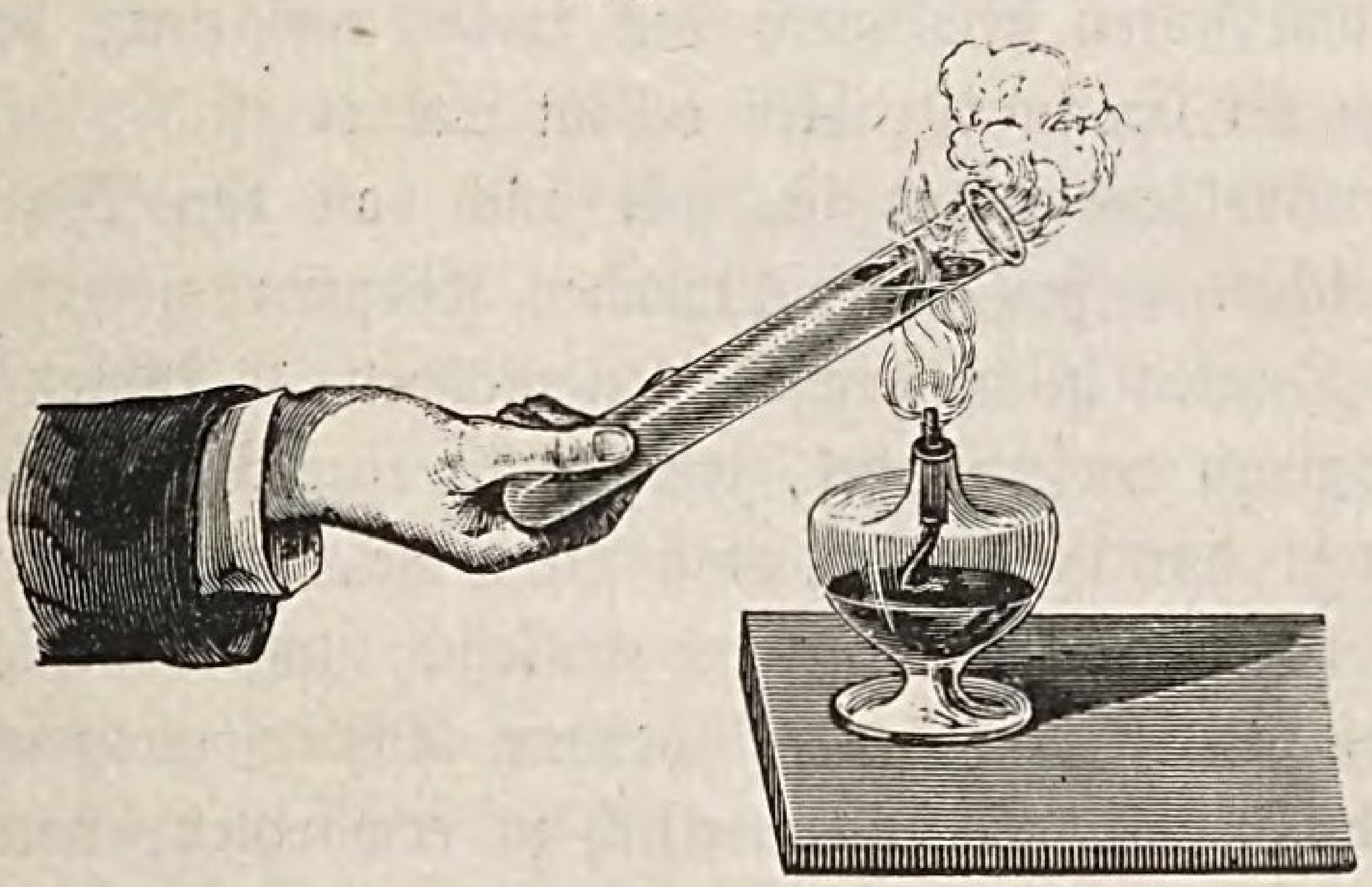
am Boden erwärmte Wasser dehnt sich nämlich aus, sein Eigengewicht nimmt ab und in Folge dessen steigt es in der kälteren Umgebung in die Höhe, seine unten empfangene Wärme mit in die oberen Schichten fortführend. Daß in einer von unten her erwärmten Wassermasse solche Strömungen vorkommen, ersieht man leicht, wenn man ein Probirgläschen mit Wasser, in welches man einige Sägespähne gestreut hat, in der Weise über eine Weingeistflamme hält, wie es Fig. 252 zeigt. Es ist hier das untere Ende des Röhrchens, welches der Flamme ausgesetzt wird. Damit das Röhrchen nicht durch zu rasche Erhitzung springe, dreht man es anfangs zwischen den Fingern oder man fährt mit demselben über der Flamme hin und her. Beobachtet man nun das Wasser in dem Röhrchen genau, so bemerkt man, daß die Sägespähnchen an der oberen Wand des Röhrchens in die Höhe steigen, an der unteren aber wieder herabsinken, woraus offenbar folgt, daß das warme Wasser aufsteigt, während das kalte niedersinkt und so ebenfalls mit der Wärmequelle in Berührung kommt.

Fig. 252.



Um sich davon zu überzeugen, daß das Wasser wirklich ein schlechter Wärmeleiter ist, muß man es von oben her erwärmen, indem man ein mit kaltem Wasser gefülltes Probirröhrchen, Fig 253, so über eine Spirituslampe hält, daß die Flamme nur die oberen Schichten des Wassers erhitzt. Man bringt es bald dahin, daß das Wasser oben kocht, während es unten ganz kalt bleibt.

Fig. 253.



Für die Fortpflanzung der Wärme durch Leitung ist es charakteristisch, daß sie sich von der Wärmequelle aus nur nach und nach von Theilchen zu Theilchen in der leitenden Masse fortpflanzen kann, daß also an einem von der Wärmequelle entfernten Theilchen *a* nicht eher eine Temperaturerhöhung auftreten kann, als bis alle zwischen *a* und der Wärmequelle liegenden Körpertheilchen gleichfalls eine entsprechende Temperaturerhöhung erfahren haben.

Wärmestrahlung. Ganz anders verhält es sich mit der Verbreitung der Wärme durch Strahlung. Der nackte Boden, eine Felswand, ein Schieferdach, eine Mauer u. s. w., welche in einem Sommermonat den Strahlen der am blauen Himmel glänzenden Sonne ausgesetzt sind, werden nicht allein warm, sie 102

werden heiß, und doch ist, wie man mit einem Thermometer leicht nachweisen kann, die über ihnen ruhende Luft bei weitem nicht so stark erhitzt, wie diese Körper selbst. Man lege einmal das Thermometer auf einen durch die Sonnenstrahlen erhitzten Stein und hänge es dann 5 bis 6 Fuß hoch über demselben in freier Luft auf, so wird man finden, daß es im ersteren Fall eine viel höhere Temperatur anzeigt als im letzteren. Bei einem solchen Versuch stieg z. B. das Thermometer auf dem Stein auf 26° C., während es in Mannshöhe über dem Boden aufgehängt nach einiger Zeit wieder auf 20° C. fiel. Der auf dem Boden liegende Stein war also entschieden wärmer, als die zunächst über ihm befindlichen Luftschichten, welche die Sonnenstrahlen doch erst durchsetzen mußten, um zum Boden zu gelangen.

Noch auffallender wird dieser Gegensatz (Contrast), wenn man die Temperatur der höheren Luftschichten mit der Temperatur des Bodens tiefer liegender Ebenen vergleicht. Je mehr man sich über die Tiefebene erhebt, desto mehr nimmt die Temperatur ab, was schon daraus hervorgeht, daß die Kämme und Spitzen hoher Gebirge, z. B. der Alpen, mit ewigem Schnee bedeckt sind. In jenen Höhen ist also die Luft weit kälter als in der Tiefe. Dies bestätigen auch alle diejenigen, welche in einem Luftballon zu größerer Höhe aufgestiegen sind; in größerer Höhe hatten sie von empfindlicher Kälte zu leiden. So fand man z. B. bei einer solchen Luftfahrt in einer Höhe von 18 000 Fuß die Temperatur von 10 Grad unter Null, während am Boden eine Temperatur von 18° C. herrschte.

Die Sonnenstrahlen gehen also durch die ganze Erdatmosphäre hindurch, ohne dieselbe merklich zu erwärmen, und werden erst in fühlbare Wärme verwandelt, wenn sie den Boden oder sonst einen Körper treffen, welcher sie verschluckt (absorbirt). Die Erdatmosphäre wird nicht durch die sie durchdringenden Sonnenstrahlen, sondern erst von unten her durch den Boden erwärmt, dessen Temperatur durch die Absorption der Sonnenstrahlen erhöht worden ist.

Was hier von den Sonnenstrahlen gesagt ist, gilt auch von den Wärmestrahlen, welche von irgend welchen heißen oder glühenden Körpern ausgesendet werden. Wenn wir uns einem Haufen glühender Kohlen nähern, so fühlen wir eine brennende Hitze, welche sogleich verschwindet, wenn wir ein Blatt Papier vor das Gesicht halten. Es geht daraus hervor, daß die Hitze, welche wir im Gesichte fühlen, nicht von der hohen Temperatur der dasselbe umgebenden Luft herrührt. Die Wärmestrahlen, welche von den glühenden Kohlen ausgesendet werden, gehen durch die Luft hindurch, ohne sie merklich zu erwärmen; von der Haut unseres Gesichtes verschluckt werden sie hier erst in fühlbare Wärme verwandelt.

103 **Verhalten verschiedener Körper gegen die Wärmestrahlen.** Ein dünnwandiges Becherglas werde mit Stanniol überzogen und nachdem es mit Wasser gefüllt worden ist, welches bis dahin im Schatten gestanden hat, mit einer Scheibe steifen Papiers zugedeckt, welche gleichfalls mit Stanniol überzogen ist. Auf gleiche Weise überziehe man ein zweites Glas mit weißem, ein drittes mit schwarzem (nicht glänzendem) Papier, und decke das zweite mit einer Scheibe weißen, das dritte mit einer Scheibe schwarzen Papiers zu, nachdem

man sie in gleicher Weise wie das erste mit Wasser von der gleichen Temperatur gefüllt hat. Die so präparirten Gläser setze man nun mit einem vierten, welches gar nicht überzogen und mit einer Glasplatte zugedeckt, aber eben so hoch mit Wasser gefüllt ist, in gleicher Weise an einem heiteren Tag eine Zeitlang den Sonnenstrahlen aus, so wird man finden, daß das Wasser in allen vier Gläsern heißer geworden ist und zwar am heißesten in dem mit schwarzem Papier, am wenigsten heiß in dem mit Stanniol überzogenen Glase.

Bei einem derartigen Versuche war z. B. die Anfangstemperatur des Wassers in allen vier Gläsern 24° C. Nach 20 Minuten war die Temperatur des Wassers gestiegen auf:

$28^1/_2$	in dem mit Stanniol	überzogenen Glase.
$28^1/_2$	„ „ „ weißem Papier	
$32^1/_5$	„ „ „ schwarzem Papier	
$30^1/_5$	„ „ gar nicht	

So sehen wir also, daß das schwarze Papier die Wärmestrahlen am stärksten aufsaugt (verschluckt, absorbirt), während das Stanniol dieselben größtentheils spiegelt, das weiße Papier aber sie unregelmäßig zerstreut.

Körper von mehr lockerem Gefüge und etwas rauher Oberfläche absorbiren also die Wärmestrahlen weit vollständiger als metallisch glänzende Oberflächen, schwarze oder überhaupt dunkle Oberflächen erwärmen sich unter dem Einfluß von Sonnenstrahlen unter gleichen Umständen stärker als helle.

Aber auch das durchsichtige Glas und das durchsichtige Wasser verschlucken einen großen Theil der sie treffenden Wärmestrahlen, denn auch das Wasser in dem gar nicht überzogenen und mit einer Glasplatte bedeckten Glase ist unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen wesentlich wärmer geworden. Ein Theil der Sonnenstrahlen wird freilich an der Oberfläche des Glases und an der Oberfläche des Wassers gespiegelt, der größere Theil der Sonnenstrahlen dringt aber in diese durchsichtigen Stoffe ein. So durchsichtig aber auch Glas und Wasser für Lichtstrahlen sein mögen, so werden doch die Wärmestrahlen vom Wasser sowohl wie vom Glase großentheils verschluckt und in Folge der absorbirten Strahlen erwärmt.

Wir wollen nun obigen Versuch in entgegengesetzter Weise ausführen. In jedes der vier Gläser gieße man bis zur gleichen Höhe **heißes** Wasser, etwa solches von 50° C., und stelle dieselben an einen beschatteten, aber sonst freien Ort, etwa auf einen Tisch, welcher in der Mitte eines Zimmers steht. Die Temperatur des Wassers sinkt in allen 4 Gläsern, am raschesten aber in dem mit schwarzem Papier, am langsamsten in dem mit Stanniol überzogenen Glase. Während z. B. die Anfangstemperatur in allen 4 Gläsern bei einem derartigen Versuch 50° C. war, betrug dieselbe nach $^1/_2$ Stunde

$35^1/_2$° C.	in dem mit schwarzem Papier	überzogenen Glase.
$36^4/_5$	„ „ „ weißem Papier	
$38^4/_5$	„ „ „ Stanniol	
$36^1/_5$	„ „ gar nicht	

Die Abkühlung ist in diesem Falle vorzugsweise dadurch erfolgt, daß die mit warmem Wasser gefüllten Gläser Wärmestrahlen nach allen Seiten hin in die kältere Umgebung aussenden. Das Vermögen, Wärme auszustrahlen, ist aber,

wie der obige Versuch zeigt, wesentlich durch die Natur der Oberflächen bedingt, das schwarze Papier strahlt die Wärme besser aus, als die glänzende Stanniol-bekleidung.

So wird z. B. auch die rauhe schwarze Oberfläche eines eisernen Ofens die Wärme besser ausstrahlen, als ein aus weiß glasirten Thonplatten construirter Porzellanofen. Die starke, oft lästige Wärmestrahlung des eisernen Ofens trägt viel dazu bei, daß er unter sonst gleichen Umständen rascher erkaltet, als ein Porzellanofen.

So sehen wir denn, daß solche Oberflächen, welche die Wärmestrahlen am besten einsaugen (absorbiren), umgekehrt in einer kälteren Umgebung die Wärme auch wieder am leichtesten ausstrahlen, daß sie das größte Strahlungsvermögen besitzen.

104 **Der Thau.** Man war früher wohl der irrigen Ansicht, daß der Thau vom Himmel fiele, wie der Regen; diese Ansicht ist ganz irrig, die Thaubildung ist nur eine Folge der Wärmestrahlung.

Wenn der Boden bei heiterem Wetter von den Sonnenstrahlen getroffen wird, so erwärmt er sich allmälig, der warme Boden sendet alsdann aber auch Wärmestrahlen gegen den kalten Himmelsraum aus. Des Morgens empfängt der Boden mehr Wärmestrahlen von der Sonne, als er gegen den Himmelsraum ausstrahlt, der Boden muß sich also bei stets steigender Sonnenhöhe mehr und mehr erwärmen. Erst einige Zeit nach Mittag tritt ein Gleichgewichtszustand ein, der Boden strahlt so viel Wärme gegen den Himmelsraum aus, als er von der Sonne empfängt. Es ist dies die Zeit der größten Tageswärme. Nun aber sinkt die Sonne tiefer und tiefer, der Einfluß der Sonnenstrahlen nimmt ab, so daß nun der Boden mehr Wärme gegen den Himmelsraum ausstrahlt, als er von der Sonne empfängt. Die Temperatur des Bodens und die der unteren Luftschichten muß also allmälig abnehmen.

Nach Sonnenuntergang empfängt der Boden gar keine Wärmestrahlen mehr, während die Ausstrahlung gegen den Himmelsraum ungehindert fortdauert, in heiteren Nächten muß also die Abkühlung ununterbrochen bis zum Sonnenaufgang fortdauern.

Noch besser als der nackte Boden strahlen Blätter, Grashalme u. s. w., welche frei in die Luft hineinragen, die Wärme während der Nacht nach allen Richtungen hin aus, sie werden also während einer heiteren Nacht besonders stark erkalten. Auf diese Weise aber erkaltet der Boden und namentlich ein mit Pflanzenwuchs überzogener Boden während einer heiteren Nacht stärker, als die über ihm befindlichen Luftschichten, und wie man einen von den Sonnenstrahlen getroffenen Boden wärmer findet, als die Luft in einer Höhe von 5 bis 6 Fuß über demselben, so wird umgekehrt in einer heiteren Nacht ein Thermometer, welches man in das Gras einer Wiese einsenkt, um mehrere Grade weniger zeigen, als wenn man dasselbe 5 bis 6 Fuß hoch über dem Boden aufhängt.

Selbst in heiteren Winternächten findet man die Temperatur der Schneedecke um mehrere Grad niedriger, als die Temperatur der einige Fuß höheren Luftschichten.

Wenn nun bei heiterem Himmel der Boden und die ihn überziehende Pflanzendecke unter den Thaupunkt der auf ihr ruhenden Luftschicht erkaltet ist, so theilt sich diese Erkaltung zunächst den untersten Luftschichten mit, welche ihren überflüssigen Wassergehalt in Form zarter, allmälig wachsender Tröpfchen an den erkaltenden Körper absetzen, ganz ähnlich, wie wir es in einem anderen Falle bereits auf S. 189 gesehen haben.

Ist die Temperatur des durch Wärmestrahlung erkalteten Körpers unter 0° gesunken, so wird sich das Wasser aus den benachbarten Luftschichten an denselben nicht mehr in Form von Thautröpfchen, sondern in Form von **Reif** ansetzen. Reif ist nichts anderes als ein in Form von Schneekryställchen ausgeschiedener Thau.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß Pflanzen durch nächtliche Strahlung unter 0° erkalten und in Folge dessen erfrieren können, ohne daß die Temperatur der Luft einige Fuß über dem Boden so tief sinkt. Dies kann in heiteren, windstillen Frühlingsnächten (ungefähr zur Zeit, in welcher der Neumond in das Zeichen des Stieres tritt, **Stierneu**) sehr gefährlich werden und das Erfrieren von zarten Blättchen, Blüthen, Rebsprossen u. s. w. zur Folge haben.

Nur bei heiterem Himmel kann eine Thaubildung stattfinden. Eine Wolkendecke, selbst wenn sie keineswegs dicht ist, verhindert die Wärmestrahlung der Erdoberfläche gegen den Himmelsraum. Aber selbst bei heiteren Nächten findet keine Thaubildung statt, wenn die Luft nicht ruhig ist und ein nur etwas lebhafter Wind weht. Dadurch werden immer wieder frische Luftschichten mit dem Boden in Berührung gebracht und wieder entführt, ehe sie bis zum Thaupunkt erkaltet sind.

Die Quellen der Wärme. Für die Erdoberfläche sind ohne Zweifel die Sonnenstrahlen die wichtigste Wärmequelle, durch sie ist die Temperatur **105**
der Umgebung bedingt, in der wir leben. In solchen Ländern, in welchen sich die Mittagssonne hoch über den Horizont erhebt und wo sie in bestimmten Zeiten selbst senkrecht über den Köpfen der Bewohner steht, werden die Sonnenstrahlen auch die größten Wirkungen hervorbringen; diese Länder bilden die heiße Zone.

Der **Nordpol** sowohl wie der **Südpol** der Erde werden selbst in der günstigsten Zeit nur sehr schräg, längere Zeit aber gar nicht von den Sonnenstrahlen getroffen, in den Umgebungen der Pole können die Sonnenstrahlen nur eine äußerst geringe Erwärmung bewirken, die Umgebung der Pole bildet also zwei kalte Zonen, welche größtentheils stets mit Eis und Schnee bedeckt sind.

Zwischen der heißen und der nördlichen kalten Zone liegt dann die **nördliche gemäßigte**, zwischen der heißen und der südlichen kalten Zone liegt die **südliche gemäßigte** Zone. Eine nähere Charakterisirung der klimatischen Zonen unserer Erde gehört nicht hierher.

Nebst den Sonnenstrahlen ist für uns die **Verbrennung** die wichtigste Wärmequelle, von der wir im alltäglichen Leben sowohl wie auch in den Gewerben vielfach Gebrauch machen. Verbrennung nennen wir aber überhaupt jede rasch unter Entwickelung von Licht und Wärme vor sich gehende Verbindung verschiedener Stoffe mit Sauerstoff.

Die Stoffe, welche wir zum Verbrennen benutzen, enthalten sämmtlich Kohlenstoff, meistens aber außerdem noch Wasserstoff und noch einige andere Stoffe, die hier nicht in Betracht kommen. Solche Stoffe, wie z. B. Holz, Steinkohle, Weingeist, Oel, Talg, Wachs u. s., w. werden also durch Verbrennung des in ihnen enthaltenen Kohlenstoffs Kohlensäure, durch Verbrennung des in ihnen enthaltenen Wasserstoffs Wasserdampf liefern, zwei Stoffe, welche sich luftförmig in der Atmosphäre verbreiten, weshalb wir denn auch diese Brennstoffe vollständig oder doch bis auf einen unbedeutenden Aschenrest für das Auge verschwinden sehen.

Wenn eine bestimmte Menge Kohlenstoff oder eine bestimmte Menge Wasserstoff sich mit Sauerstoff verbindet, so wird immer die gleiche Wärmemenge erzeugt, mag nun diese Verbindung rasch vor sich gehen, wie bei der Verbrennung im gewöhnlichen Sinne des Wortes, oder allmälig, wie bei der langsamen Verbrennung. Eine solche langsame Verbrennung findet nun auch im menschlichen und thierischen Körper statt, und sie ist die Quelle unserer Blutwärme.

So lange ein Thier lebt, ist sein Blut in steter Bewegung und in steter Veränderung begriffen. Vom Herzen aus strömt ein hellrothes Blut durch die mehr innerlich liegenden Pulsadern (Arterien) in alle Theile des Körpers, um alsdann dunkler gefärbt durch die mehr äußerlich liegenden Drosseladern (Venen) wieder zum Herzen zurückzukehren.

Das dunkel gefärbte Venenblut wird aber alsbald in die Lungen getrieben, in denen es mit der eingeathmeten Luft in Berührung kommt, um wieder, in hellrothes Arterienblut verwandelt, zum Herzen zurückzukehren.

Der erwähnte Farbenunterschied des Arterien- und des Venenblutes rührt lediglich daher, daß im Arterienblut Sauerstoff, im Venenblut aber Kohlensäure absorbirt ist. Der im Blut enthaltene Sauerstoff kommt auf seinem weiten Wege vom Herzen durch den ganzen Körper und zum Herzen zurück vielfach mit kohlenstoff- und wasserstoffhaltigen Substanzen in Berührung, welche dem Blute durch die Verdauungsorgane zugeführt werden; indem die Kohlen-Wasserstoff-Verbindungen im Blute sich mit dem absorbirten Sauerstoff verbinden, entsteht Kohlensäure, welche dem Blute die dunklere Färbung ertheilt, und Wasser. Das dunkle, zum Herzen zurückgekehrte Blut wird alsdann von hier in die Lungen gepumpt, wo seine Kohlensäure entweicht, wogegen es wieder Sauerstoff aus der eingeathmeten Luft aufnimmt, und so gleichsam erfrischt zum Herzen zurückkehrt und seine Wanderung durch den Körper wieder beginnt.

Für den eingeathmeten Sauerstoff athmen wir Kohlensäure und Wasserdampf aus. Bei der allmäligen Verbindung des im Blute enthaltenen Sauerstoffs mit Kohlenstoff und Wasserstoff wird aber gerade so viel Wärme erzeugt, um die Temperatur der Blutwärme auf einer bestimmten Höhe zu erhalten.

Bei dem Menschen, den Säugethieren und den Vögeln ist die Blutwärme höher als die der Umgebung, in welcher sie leben (warmblütige Thiere).

Die Blutwärme des Menschen, die Temperatur, bis auf welche ein Thermometer steigt, wenn man sein Gefäß in den geschlossenen Mund oder in die Achselhöhle bringt, beträgt ungefähr $37^1/_2{}^0$ C., mag es nun Sommer oder Winter sein, mag der Mensch in der kalten oder in der heißen Zone leben. Eine Steigerung der Blutwärme des menschlichen Körpers auf 39 oder 40 Grad ist

immer ein Zeichen krankhaften Zustandes, weshalb denn auch die Beobachtung der Blutwärme dem Arzte ein ausgezeichnetes Mittel an die Hand giebt, den Verlauf einer Krankheit zu verfolgen.

Die Blutwärme der Säugethiere ist im Durchschnitt 38° C., merklich höher aber ist die der Vögel, welche im Durchschnitt 41° C. beträgt.

Es ist klar, daß zur Erhaltung der gleichen Blutwärme im menschlichen Körper mehr Wärme producirt werden muß, wenn er in kälterer, als wenn er in wärmerer Umgebung lebt. In kalter Umgebung bedarf es deshalb einer reichlicheren Ernährung und lebhafterer Athmung, als in wärmeren.

Es bleibt uns nun noch eine dritte, für Praxis und Wissenschaft höchst wichtige Wärmequelle zu betrachten übrig, nämlich die Wärmeentwickelung durch mechanische Mittel.

Jede Reibung, jede kräftige Compression (Zusammendrückung) irgend welcher Körper ist von einer Wärmeentwickelung begleitet.

Ein Sägeblatt, mit welchem eben ein Scheit Holz durchgesägt wurde, ist so heiß, daß man es kaum anfassen kann, und wenn man ein kupfernes 1-Kreuzer- oder 4-Pfennig-Stück nur etwa 50 bis 60 mal kräftig auf einem ebenen Brette hin und her reibt, wird dasselbe so heiß, daß man sich fast die Finger daran verbrennt.

Wenn ein etwas schwerer, durch einen eisernen Hemmschuh gesperrter Wagen rasch auf einer etwas stark geneigten Chaussee hinabfährt, so wird der Hemmschuh durch die Reibung oft so heiß, daß er, unten in einer Pfütze angekommen, das Wasser derselben aufkochen macht.

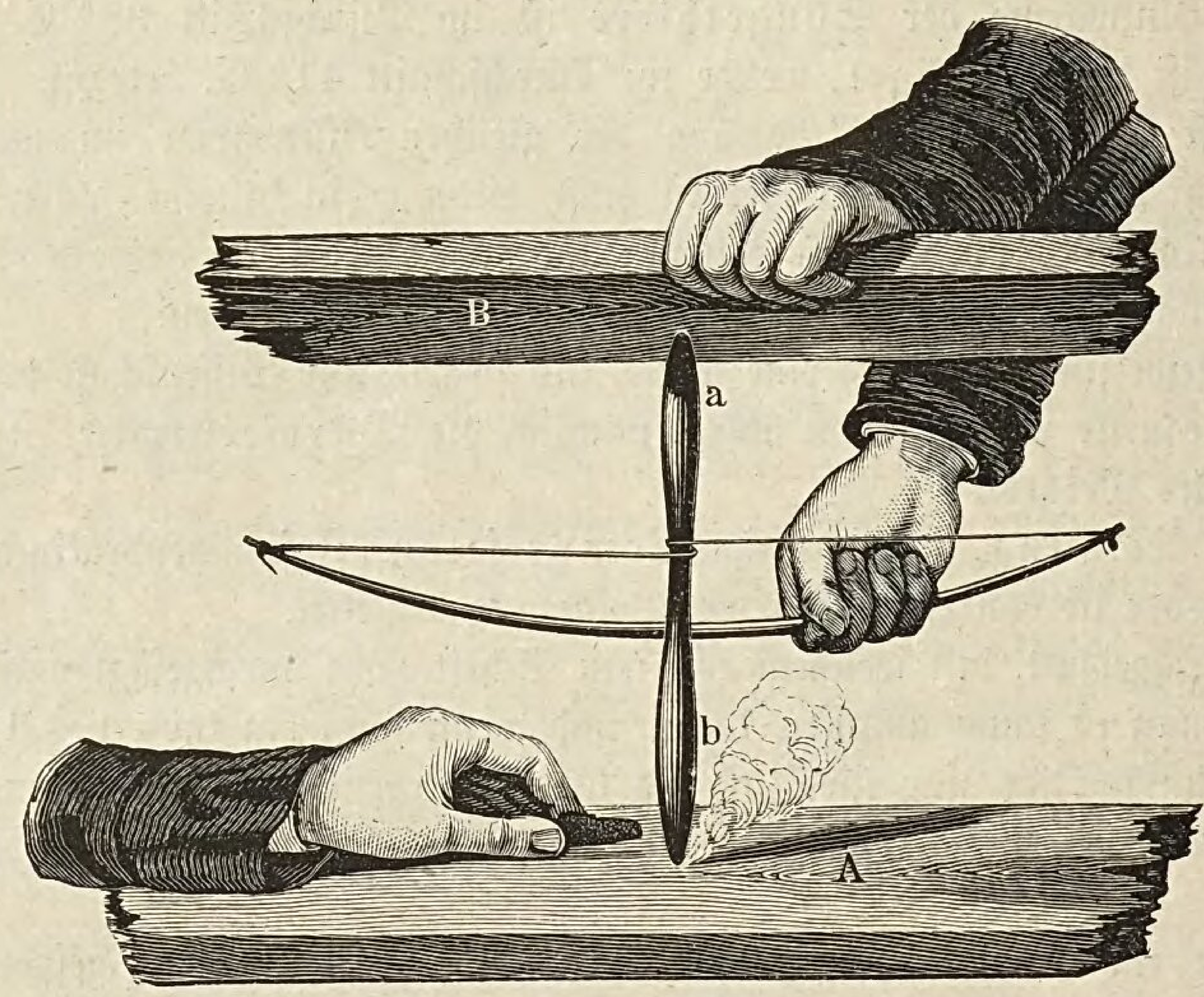
Die Reibung ist es, deren wir uns fast ausschließlich bedienen, um Feuer zu machen. Durch kräftige Reibung verstehen die Wilden, trockene Holzstücke zu entzünden. Das Feuerschlagen mit Stahl und Stein beruht lediglich auf einer Wirkung der Reibung. Die durch kräftige Reibung am Stein abgerissenen Stahltheilchen werden bis zum Glühen erhitzt und setzen den Zunder in Brand, wenn sie denselben treffen. — Die Entzündung unserer Streichhölzchen ist lediglich eine Folge der Reibung.

Das Feuermachen durch Reiben trockener Holzstücke ist übrigens keineswegs so einfach, wie man wohl nach der Lectüre des Robinson glauben möchte, denn selbst die uncultivirtesten Völker können zu diesem Zweck mechanischer Vorrichtungen nicht entbehren. Fig. 254 (a. f. S.) zeigt z. B. eine Vorrichtung, deren sich die Indianer in Nordamerika zum Feuermachen bedienen. Ein ungefähr 6 Zoll langer, an beiden Enden etwas zugespitzter Stab *ab* von hartem trockenem Holze wird in eine kleine Vertiefung des Brettes *A* eingesetzt, auf das obere Ende das Brett *B* aufgedrückt und dann auf die in der Figur ersichtliche Weise der Stab in rasche Drehung versetzt. Sobald sich Feuer zeigt, nähert eine zweite Person ein Stück Zunder, um dasselbe am glimmenden Holz in Brand zu stecken.

Um die Entzündung des Holzes durch Reibung zu bewirken, kann man sich auch der Drehbank bedienen. Ein ungefähr 20 Centimeter langer und 3 Centimeter dicker Stab *ab*, Fig. 255 (a. f. S.), von hartem trockenem Holze wird auf der Drehbank so eingespannt, daß man ihn um seine horizontale Axe in rasche Rotation versetzen kann. Dieser Stab wird nun zwischen zwei Stücke von Tannen-

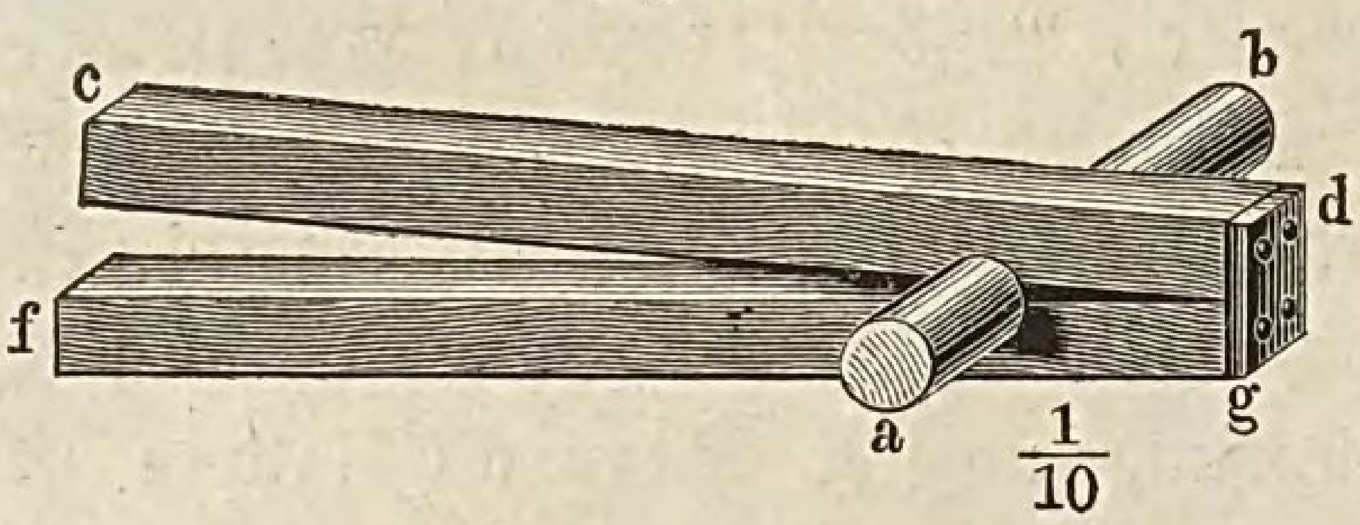
Holz, *cd* und *fg*, gepackt, wie Figur 255 zeigt, deren jedes ungefähr 44 Centimeter lang, 3 Centimeter breit und eben so dick ist, und welche auf der einen

Fig. 254.



Seite bei *dg* durch ein aufgenageltes Stück Leder wie durch ein Charnier verbunden sind. An der entsprechenden Stelle ist jedes der beiden Holzstücke mit einer

Fig. 255.



nicht ganz halbkreisförmigen Rinne versehen, in welche der Holzstab *ab* hineinpaßt. Wenn man bei rascher Umdrehung des Stabes *ab* die beiden Holzstücke durch einen mäßigen Druck bei *c* und *f* zusammendrückt, so ist eine so starke Reibung zu überwinden, daß der Stab sowohl wie die Hohlkehlen der aufgedrückten Holzstücke schwarz werden und nach kurzer Zeit zu rauchen beginnen. Setzt man die Rotation in dieser Weise noch eine Zeit lang fort, so beginnt das verkohlte Holz alsbald zu glimmen.

Dieser Versuch bedarf einer ziemlichen Kraftanstrengung, um bei genügend starker Reibung eine rasche Umdrehung des Stabes *ab* zu erhalten, weshalb es gut ist, wenn die Drehbank durch zwei Personen getreten wird. Hat man eine Drehbank zur Verfügung, deren Umdrehung durch eine Dampfmaschine oder ein Wasserrad, also durch eine bedeutende Kraft besorgt wird, so gelingt der oben beschriebene Versuch sehr leicht.

Die Wärmeentwickelung durch Reibung ist aber nicht allein von praktischer, sondern auch von wissenschaftlicher Wichtigkeit, indem gerade sie wesentlich zur Erkenntniß des wahren Wesens der Wärme beigetragen hat.

106 **Was ist Wärme.** Lange Zeit waren die Ansichten der Gelehrten über das wahre Wesen der Wärme sehr getheilt. Einige betrachteten die Wärme

als einen eigenthümlichen, der Schwere nicht unterworfenen (imponderabelen) feinen Stoff. Die Körper werden erwärmt, erhitzt, wenn sie mehr und mehr von diesem Wärmestoff aufnehmen, sie erkalten um so mehr, je mehr sie von demselben an die Umgebung verlieren.

Nach dieser Ansicht läßt sich aber nicht wohl begreifen, wie eine Erwärmung durch Reibung entstehen soll, denn durch Reibung kann doch kein Stoff erzeugt werden, und so bildet denn die Wärmeerzeugung durch Reibung den Ausgangspunkt einer anderen Ansicht (Theorie) über das Wesen der Wärme, nach welcher dieselbe in einer ungemein schnellen zitternden Bewegung (Oscillationsbewegung) der kleinsten Körpertheilchen bestehen soll. Diese Ansicht über das Wesen der Wärme, welche gegenwärtig allgemein als die richtige angesehen wird, bezeichnet man als mechanische Wärmetheorie, weil hier die Erscheinungen der Wärme auf mechanische Gesetze zurückgeführt sind. Nach dieser Theorie wird ein Körper um so wärmer, je lebhafter und kräftiger die Oscillationsbewegung seiner kleinsten Körpertheilchen ist.

Eine wesentliche Stütze erhielt die mechanische Wärmetheorie auch dadurch, daß die strahlende Wärme sich in jeder Beziehung wie die Lichtstrahlen verhält, daß Licht- und Wärmestrahlen ihrem Wesen nach ganz dasselbe sind. Wenn es dunkle Wärmestrahlen giebt, wenn auch nicht leuchtende Körper noch Wärmestrahlen aussenden können, so liegt der Grund davon lediglich darin, daß ihre Schwingungen nicht schnell genug sind, um einen Lichteindruck auf das Auge zu machen. Die fühlbare Wärme besteht nach dieser Ansicht auf einer zitternden Bewegung der Körpertheilchen selbst, während die strahlende Wärme durch eine entsprechende Wellenbewegung des Aethers (§. 86) zu erklären ist. Wenn ein Körper die ihn treffenden Wärmestrahlen verschluckt (absorbirt), so rührt dies lediglich daher, daß die ihn treffenden Aetherwellen seine Körperatome gleichfalls in zitternde Bewegung setzen.

Sechstes Buch.

Magnetismus und Elektricität.

---

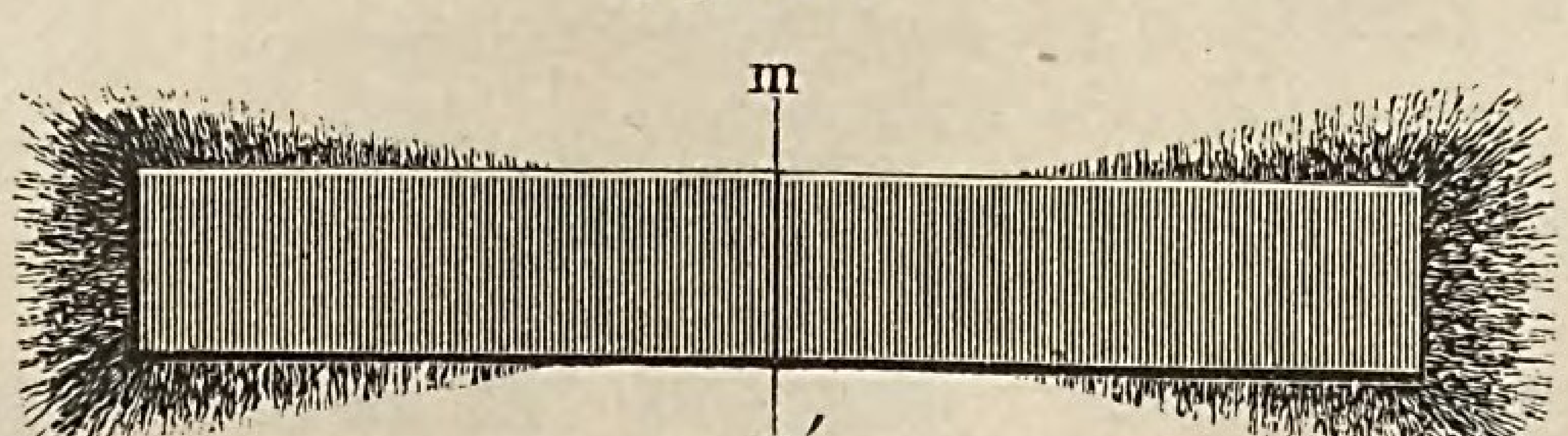
107 **Einleitung.** Den unausgesetzten Bemühungen der Naturforscher ist es gelungen, die Erscheinungen des Schalles, des Lichtes und der Wärme durch Schwingungsbewegungen zu erklären, dieselben also auf mechanische Grundsätze zurückzuführen. Dies Ziel ist bis jetzt in Betreff der magnetischen und elektrischen Erscheinungen aller Bemühungen zum Trotz noch nicht erreicht worden, weshalb man sie eben noch immer durch die Annahme besonderer unwägbarer (imponderabeler) Flüssigkeiten (Fluida) erklärt. Die Annahme dieser magnetischen und elektrischen Fluida ist eben ein Nothbehelf, den man zum Verständniß der entsprechenden Erscheinungen vor der Hand noch nicht entbehren kann.

108 **Natürliche und künstliche Magnete.** Es giebt gewisse Eisenerze, welche die Eigenschaft haben, Eisen anzuziehen, was sich am besten zeigen läßt, wenn man solche Stücke in Eisenfeile wälzt.

Weit besser als an solchen Stücken, welche man natürliche Magnete nennt, läßt sich dies aber an künstlichen Magneten nachweisen, welche aus Stahl verfertigt werden, dem man die fragliche Eigenschaft durch ein später noch zu beschreibendes Verfahren mittheilen kann. Den Stahlmagneten kann man dann auch leicht die für verschiedene Zwecke geeignetste Form geben.

Zu vielen Zwecken ist die geeignetste Form die eines einfachen Stabes. Ueberdeckt man einen Magnetstab, Fig. 256, ganz mit Eisenfeile und hebt man ihn alsdann in die Höhe, so bleiben die Eisenstückchen nur an den Enden hängen, während sie von der Mitte des Stabes herabfallen. Die Mitte des Magnetstabes übt also keine anziehende Kraft auf

Fig. 256.



das Eisen aus. Die beiden Stabenden, welche die kräftigste Anziehung gegen die Eisenfeile zeigen, werden **Pole** genannt. Zu diesem Versuch genügt schon ein aus Stahlblech verfertigter gut gehärteter und magnetisirter Streifen von ungefähr 10 Centimeter Länge, $1^1/_2$ Centimeter Breite und 2 Millimeter Dicke.

Eine zweite wichtige Form der Stahlmagnete ist die **Magnetnadel**, Fig. 257. Sie besteht meistens aus einem magnetisirten rautenförmigen Streifen *n s*

Fig. 257.

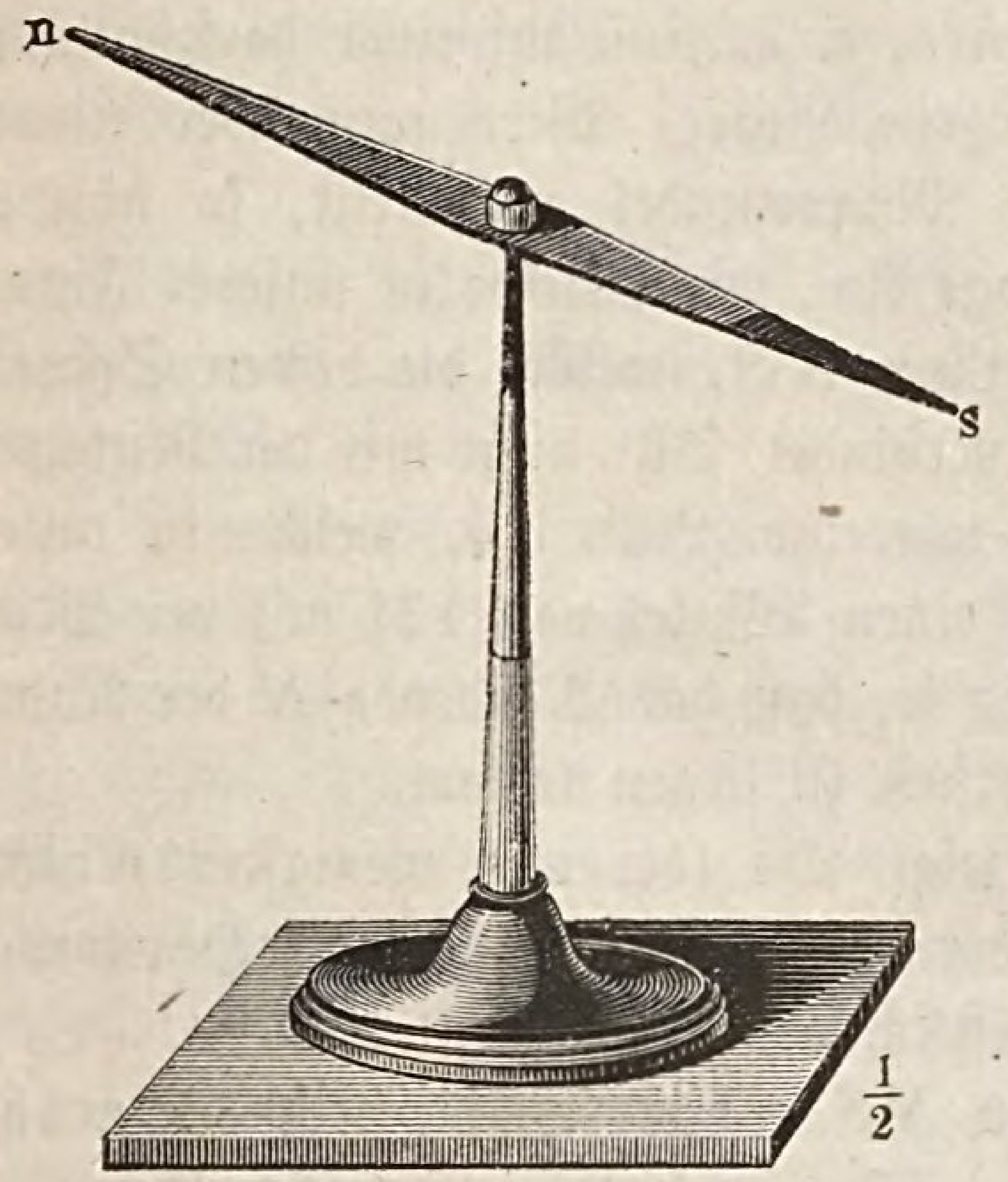
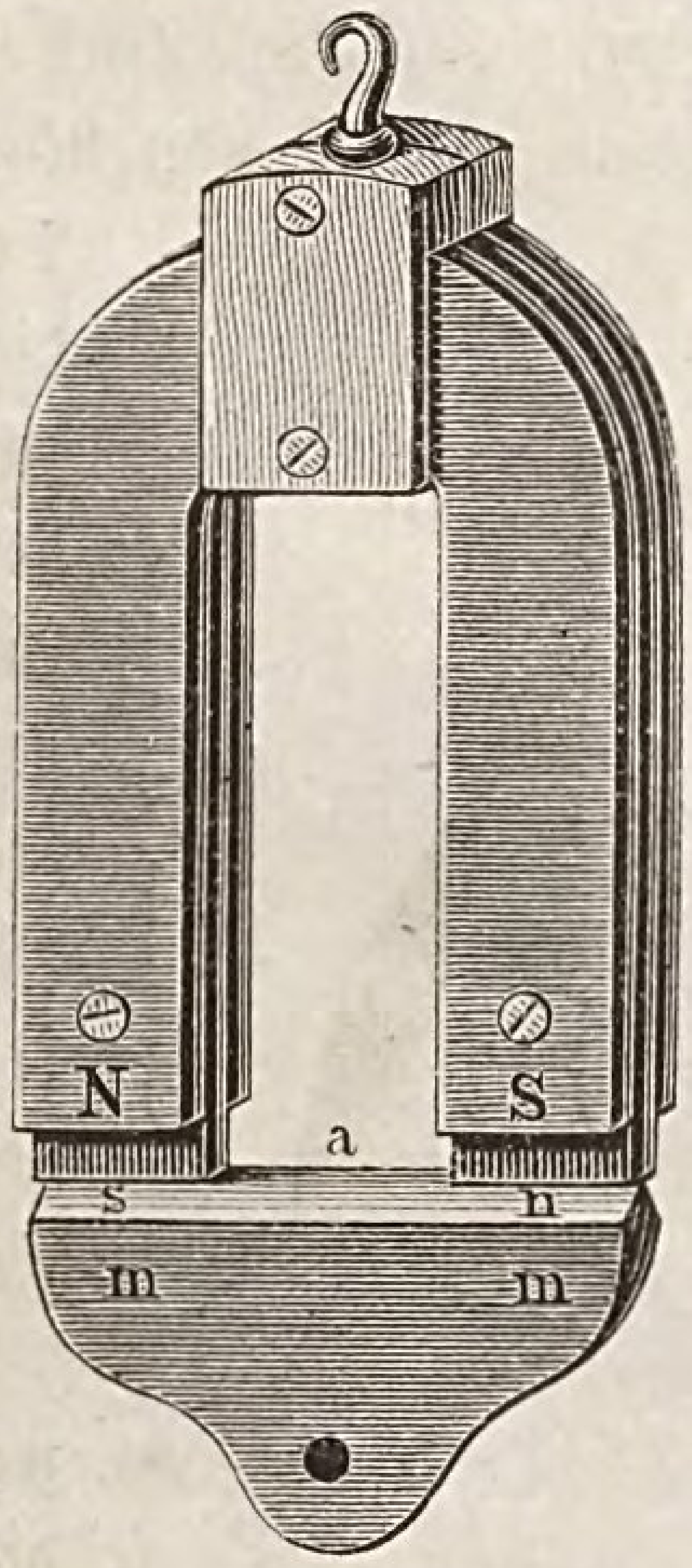


Fig. 258.



Fig. 259.



von Stahlblech, welcher in seiner Mitte durchbrochen und mit einem Achathütchen versehen ist. Setzt man dieses Achathütchen auf eine Stahlspitze, so kann sich nun die Nadel in horizontaler Ebene frei umdrehen. Es wird später von dieser Magnetnadel noch weiter die Rede sein.

Wenn es darauf ankommt, Magnete von **großer Tragkraft** herzustellen, so giebt man ihnen die Gestalt eines Hufeisens *NMS*, Fig. 258, dessen beide Pole *N* und *S* nach der gleichen Seite gerichtet sind. Wir haben einen solchen **Hufeisenmagnet** bereits auf Seite 13 kennen gelernt. Soll er dazu dienen, etwas größere Lasten zu tragen, so müssen die beiden Polflächen bei *N* und *S* so abgeschliffen sein, daß sie in eine Ebene fallen und daß man ein oben eben abgeschliffenes, ungefähr 3 Millimeter dickes Stück *sng* von **weichem Eisen** genau an die Polflächen *N* und *S* ansetzen kann. Der Hufeisenmagnet trägt nicht allein diesen **Anker** *sgn*, sondern auch noch Gewichte, die man mittelst eines Hakens bei *g* einhängen kann.

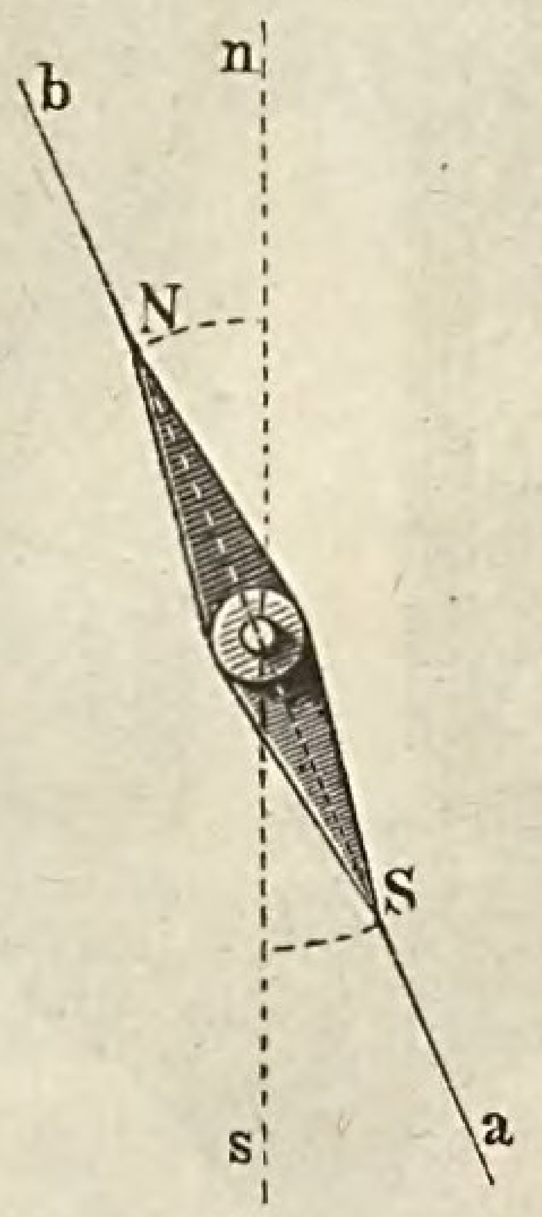
Ein derartiger 100 Gramm schwerer Hufeisenmagnet trug z. B. außer dem 60 Gramm schweren Anker noch ein Gewicht von 530 Gramm.

Um eine größere Tragkraft zu erzielen, werden mehrere magnetisirte hufeisenförmige Stahlplatten so vereinigt, wie Fig. 259 zeigt. Die Tragkraft der Magnete wächst aber keineswegs in gleichem Verhältniß wie ihre Masse. Wenn ein 100 Gramm schwerer Hufeisenmagnet 500 trägt, so wird ein 200 Gramm

schwerer Stahlmagnet derselben Form, von derselben Stahlmasse in gleicher Weise verfertigt, gehärtet und magnetisirt, bei weitem nicht das doppelte Gewicht tragen können.

109 **Magnetische Pole.** Die beiden Pole eines Magnets sind keineswegs gleichartig, wie es auf den ersten Anblick scheinen könnte. Eine Magnetnadel, Fig. 257, S. 215, wird z. B., sich selbst überlassen, stets dieselbe Stellung einnehmen, so daß das gleiche Nadelende immer nach der gleichen Weltgegend hinzeigt. In Fig. 260 sei *ns* die Mittagslinie, d. h. eine auf einer horizontalen Ebene genau von Norden nach Süden gezogene Linie. Wird nun über einem Punkte dieser Linie eine Magnetnadel aufgestellt, so nimmt dieselbe ungefähr eine Lage ein, wie dieselbe in unserer Figur dargestellt ist, d. h. die Linie *NS*, welche die beiden Spitzen der Nadel mit einander verbindet, fällt nicht mit der Mittagslinie zusammen, sondern mit einer Linie *ab*, welche in unseren Gegenden ungefähr einen Winkel von 17° mit der Mittagslinie macht, und zwar so, daß das Nordende *N* der Nadel westlich von der Mittagslinie zu liegen kommt.

Fig. 260.



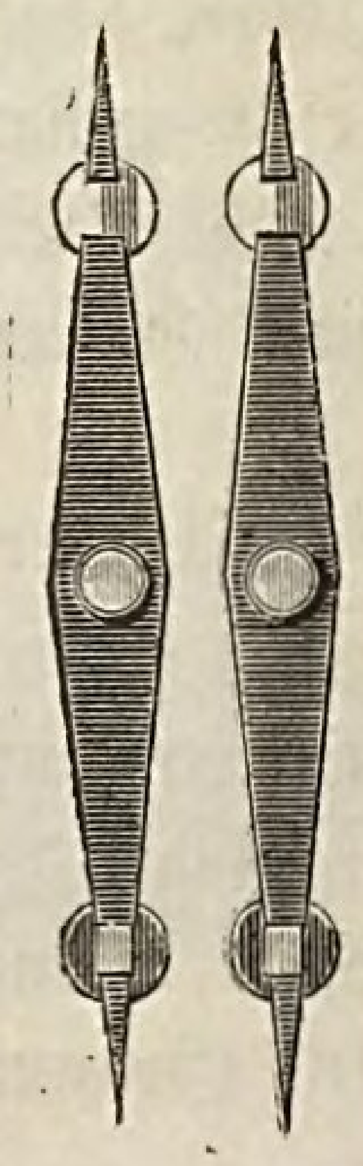
Die Magnetnadel zeigt also (bei uns wenigstens) nicht genau nach Norden, sondern nach einem Punkt des Horizonts, welcher ungefähr 17° westlich vom Nordpunkt liegt.

Der Winkel, welchen *NS* mit *ns* macht, heißt die magnetische Abweichung. Für verschiedene Orte der Erde hat die magnetische Abweichung verschiedene Werthe.

Bringt man die Magnetnadel aus ihrer Fig. 260 dargestellten Lage heraus, so wird sie, sich selbst überlassen, doch stets wieder in ihre alte Gleichgewichtslage zurückkehren; es ist immer derselbe Pol der Nadel, welcher (ungefähr) nach Norden zeigt.

Der nach Norden gekehrte Pol *N* der Nadel wird der Nordpol, der andere Pol *S* wird der Südpol der Nadel genannt. Schon die eben beschriebene Einstellung der Magnetnadel beweist, daß die beiden Pole derselben nicht gleichartig sind. Um die Polarität der Magnete näher zu untersuchen, wendet man am bequemsten zwei Magnetnadeln an, deren Nordpole etwa mit weißen, deren Südpole aber mit schwarzen Papierscheibchen bezeichnet sind, wie man in Fig. 261 sieht. Setzt man nun eine so markirte Magnetnadel auf die Stahlspitze Fig. 257, S. 215, so zeigt sich, wenn man ihr die Pole der anderen nähert,

Fig. 261.



1. daß sich die beiden weiß gezeichneten Pole einander abstoßen,
2. daß sich die beiden schwarz gezeichneten Pole einander abstoßen,
3. daß ein weiß gezeichneter Pol stets von einem schwarz gezeichneten angezogen wird. Also:

Nordpol und Nordpol stoßen sich ab,
Südpol und Südpol stoßen sich ab,
Südpol und Nordpol ziehen sich an.

Es läßt sich dies auch kurz so ausdrücken:
Gleichnamige Pole stoßen sich ab,
Ungleichnamige Pole ziehen sich an.

Wie jede Magnetnadel, so hat auch jeder Magnetstab und jeder Hufeisenmagnet zwei ungleichnamige Pole, einen Nordpol und einen Südpol. Bei der Construction des Hufeisenmagnets, Fig. 259, S. 215, sind einerseits die drei Nordpole, andererseits die drei Südpole auf einander gelegt.

Die richtende Kraft, welche die Erde auf unsere Magnetnadel ausübt, erklärt sich durch die Annahme, daß die Erdkugel selbst ein großer Magnet sei, dessen Pole aber nicht mit ihren Umdrehungspolen zusammenfallen.

Stahl und Eisen. Wir kennen und gebrauchen das Eisen in drei 110
Hauptformen: als Schmiedeeisen auch weiches Eisen genannt, als Stahl und als Gußeisen.

Das Schmiedeeisen ist reines oder doch fast reines, höchstens $^1/_2$ Proc. Kohlenstoff enthaltendes Eisen; es ist sehr dehnbar und zähe und kann deshalb zu Blech ausgewalzt und zu Draht gezogen werden. Es schmilzt erst bei einer sehr hohen Temperatur (1600° C.), wird aber in der Glühhitze schon weich, etwa wie Wachs, so daß man zwei Stücke glühendes Eisen unter dem Hammer zu einem Stück vereinigen, d. h. zusammenschweißen kann, während die meisten anderen Metalle, wie auch Gußeisen, bei genügender Temperaturerhöhung schmelzen, ohne vorher weich zu werden, weshalb sich denn auch Gußeisen eben so wenig schweißen läßt, wie Kupfer, Zink, Blei u. s. w. Das Schmiedeeisen ist weich genug, um sich durch Instrumente von hartem Stahl, etwa durch Feilen, bearbeiten zu lassen.

Das Eisen, welches in den Hohöfen gewonnen wird, ist Gußeisen oder Roheisen, ein Eisen, welches 4 bis 5 Proc. Kohlenstoff enthält und eben dadurch leichter schmelzbar wird. Es schmilzt schon bei 1100° C., läßt sich nicht schweißen und ist sehr hart und spröde.

Das Schmiedeeisen wird aus dem Gußeisen dadurch gewonnen, daß man ihm (durch den Frischproceß) seinen Kohlenstoffgehalt möglichst vollständig entzieht.

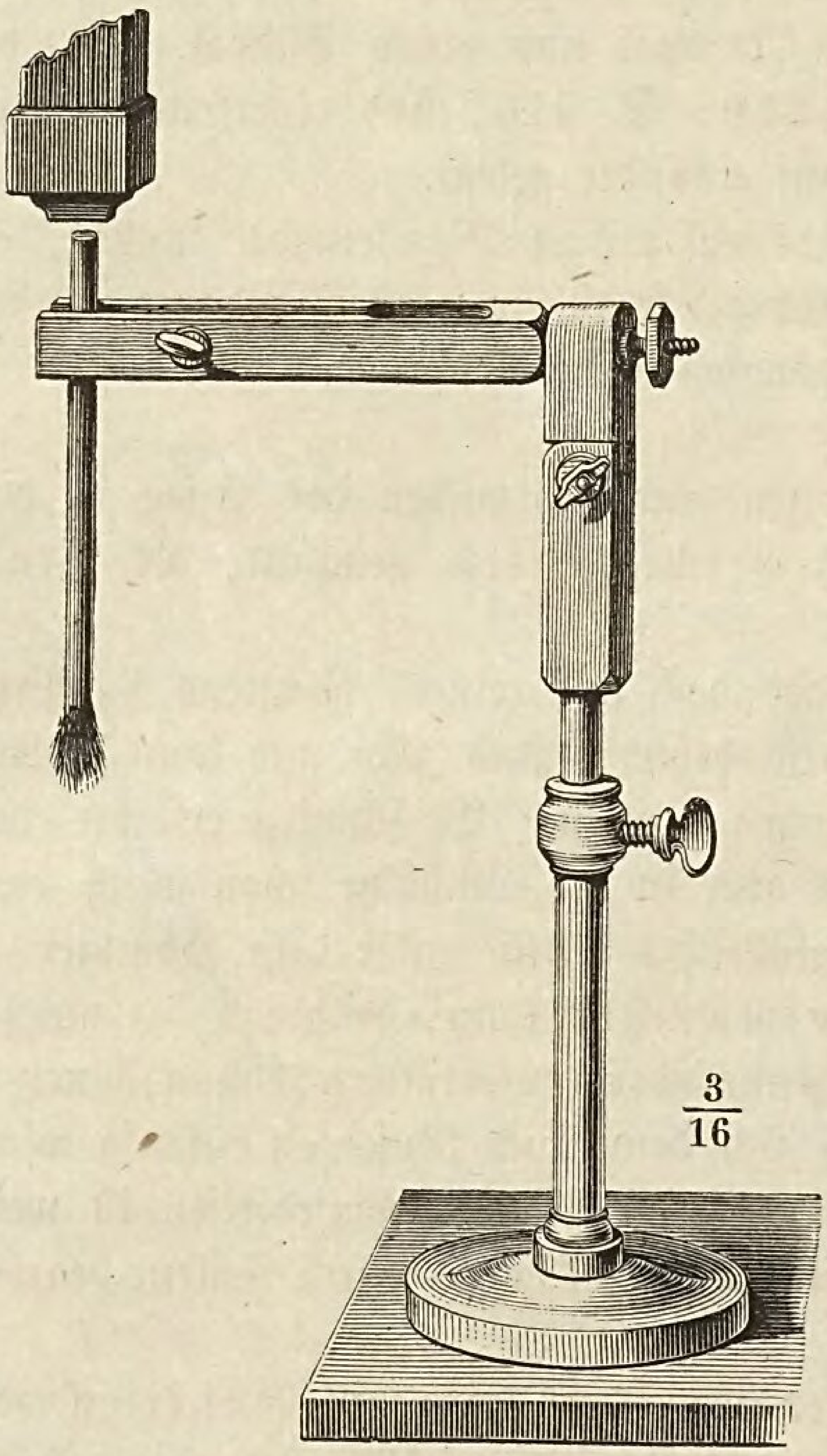
Der Stahl steht sowohl seinen Eigenschaften als auch seinem Gehalt an Kohlenstoff nach zwischen Schmiedeeisen und Gußeisen in der Mitte. Der Stahl schmilzt leichter als Schmiedeeisen und schwerer als Gußeisen; er enthält gegen 2 Proc. Kohlenstoff und ist schweißbar wie Schmiedeeisen. Glühend durch Eintauchen in kaltes Wasser abgelöscht, wird der Stahl äußerst hart und spröde; langsamer abgekühlt wird er elastisch; bei ganz langsamer Abkühlung aber bleibt er weich und dehnbar wie Schmiedeeisen. Um glasharten Stahl wieder weich zu machen, braucht man ihn nur anzulassen, d. h. bis zu einem gewissen Grad zu erwärmen und dann langsam abkühlen zu lassen.

Wir haben hier die Eigenthümlichkeiten der verschiedenen Eisensorten näher besprochen, weil dieselben mit ihrem Verhalten gegen den Magnetismus in engster Beziehung stehen.

Wenn ein 5 bis 8 Millimeter dickes Stäbchen von Schmiedeeisen durch ein passendes Stativ so in senkrechter Stellung festgehalten wird, wie Fig. 262 (a. f. S.) zeigt,

und man den einen Pol irgend eines kräftigen Magnets darüber hält (ohne jedoch das Eisenstäbchen zu berühren, was am besten dadurch verhindert wird, daß man ein Papierblatt zwischen den Magnetpol und den Eisenstab hält), so wird das Eisenstäbchen selbst zum Magnet, wie sich daraus ergiebt, daß an seinem unteren Ende ein Büschel Eisenfeile hängen bleibt, die man etwa auf ein Blatt Papier gestreut demselben genähert hatte. Sobald man nun aber den magnetisirenden Pol langsam wieder entfernt, so verliert sich auch der Magnetismus des Eisens wieder, die bis dahin getragenen Feilspähne fallen herab.

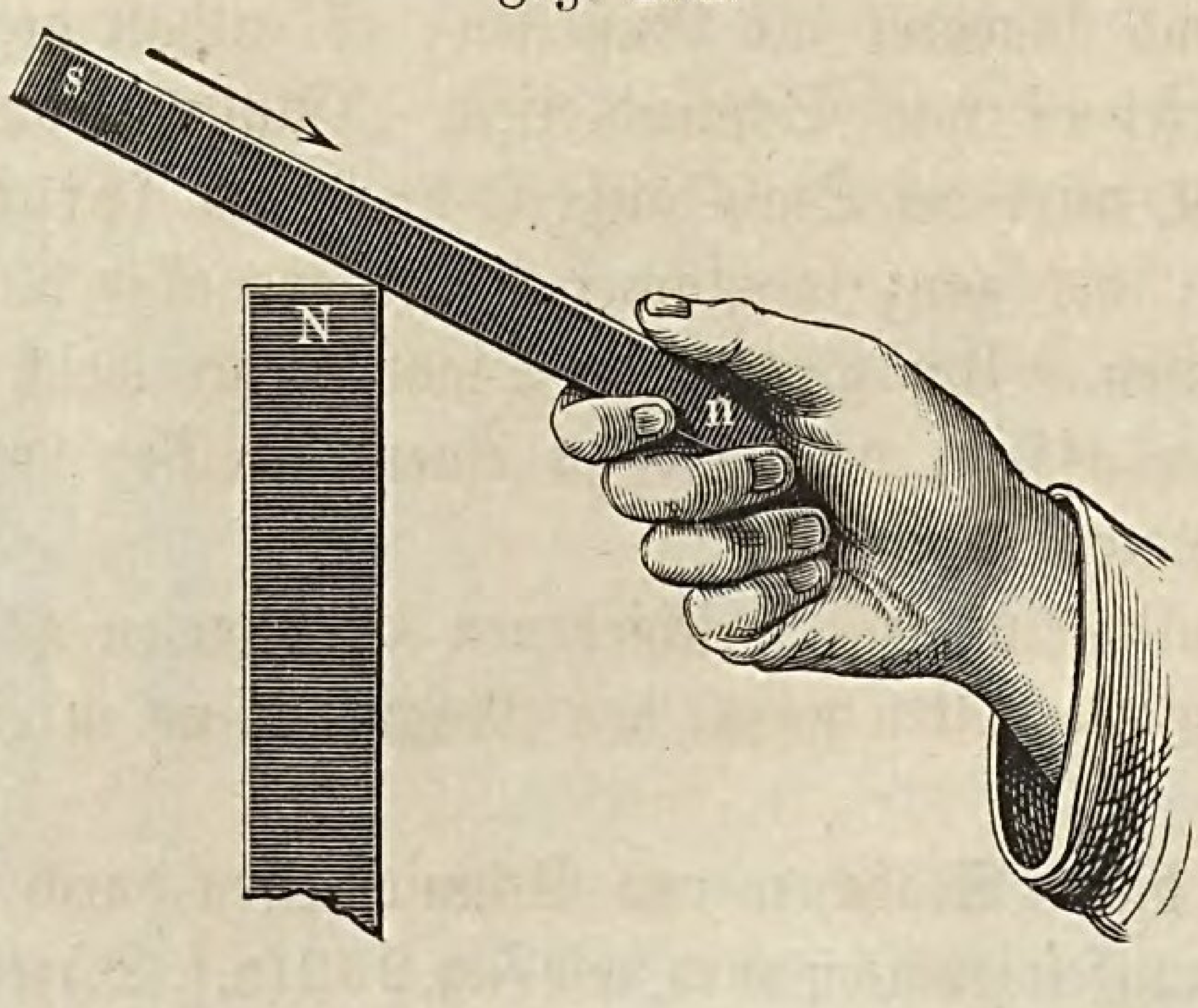
Fig. 262.



Das weiche Eisen kann also sehr leicht magnetisch gemacht werden, es verliert aber seinen Magnetismus vollständig wieder, sobald die magnetisirende Kraft zu wirken aufhört. Aus weichem Eisen kann man also keine bleibenden Magnete machen.

Ganz anders verhält sich der Stahl. Wenn man den in Fig. 262 dargestellten Versuch mit einem gehärteten Stahlstäbchen wiederholt, so wird man finden, daß am unteren Ende kaum eine Spur von Feilspähnchen hängen bleibt, durch die bloße Annäherung eines Magnetpols läßt sich also der Stahlstab noch nicht magnetisiren; es ist dazu eine längere kräftigere Einwirkung des Magnets auf verschiedene Stellen des Stahlstabes nöthig, wie man sie durch Streichen des Stahlstabes an den Polen des Magnets erzielt. Die einfachste Streichmethode ist folgende: Man streiche wiederholt (10, 20, 30 mal) die eine Hälfte des Stahlstabes, welche ein Südpol werden soll, an dem Nordpol eines kräftigen Magnets, mit der anderen Hälfte des Stahlstabes aber in gleicher Weise an dem Südpol desselben, wie dies Fig. 263 andeutet, also so, daß man den Stahlstab mit seiner Mitte auf den Magnetpol aufsetzt und ihn dann in der Richtung des Pfeiles von demselben abzieht.

Fig. 263.



Um einen Hufeisenmagnet dar=

zustellen, wird der eine Schenkel desselben auf dem Nordpol, der andere auf dem Südpol eines kräftigen Stahlmagnets gestrichen.

Der gehärtete Stahl läßt sich also bei weitem schwieriger magnetisiren, als das weiche Eisen; einmal magnetisch gemacht, verliert er aber auch seinen Magnetismus nicht so leicht, wie das weiche Eisen, aus gehärtetem Stahl kann man also bleibende Magnete machen.

Der angelassene Stahl steht in seinem Verhalten zum Magnetismus in der Mitte zwischen gehärtetem Stahl und weichem Eisen.

Aus Gußeisen lassen sich bleibende Magnete herstellen, wie aus Stahl.

Die magnetischen Flüssigkeiten. Um die bisher besprochenen Erscheinungen zu erklären, nimmt man an, daß es im Eisen zweierlei magnetische Flüssigkeiten gebe, welche der Schwere nicht unterworfen (imponderabel) sind, aber anziehend oder abstoßend auf einander wirken. Jedes Theilchen eines magnetischen Fluidums stößt gleichartige Flüssigkeitstheilchen ab und zieht ungleichnamige an. 111

Auf den ersten Anblick könnte es nun scheinen, als ob die eine Hälfte eines Magnetstabes, Fig. 256, S. 214, nur nordmagnetisches, die andere Hälfte nur südmagnetisches Fluidum, und zwar von der Mitte aus nach den Enden, in wachsender Menge enthielte. Wäre dies aber wirklich der Fall, so müßte man, wenn man den Magnetstab in der Mitte durchbricht, zwei Stücke erhalten, von denen das eine nur einen Nordpol, das andere nur einen Südpol enthält. Der Versuch zeigt, daß dies nicht der Fall ist.

Ein Stück Stahldraht, etwa ein Strickstock, werde gut gehärtet und magnetisirt. Taucht man die Enden in Eisenfeile ein, so bleibt sie an jedem derselben in Form eines Büschels hängen, wie man bei Nro. 1, Fig. 264, sieht, während die Eisenfeile in der Mitte der Nadel abfällt. Bricht man aber das Stäbchen in der Mitte durch, so ist jede Hälfte wiederum ein vollständiger Magnet mit zwei Polen; jede folgende Halbirung hat den gleichen Erfolg, jede folgende Halbirung liefert abermals zwei Stäbchen, deren jedes wieder zwei Pole hat, wie man durch Eintauchen in Eisenfeile nachweisen kann und wie es Fig. 264 anschaulich macht.

Fig. 264.



Demnach muß man annehmen, daß schon das kleinste Stahlstückchen ein vollständiger Magnet ist. Das Gleiche gilt aber auch für das Eisen, d. h. wir müssen annehmen, daß jedes kleinste Eisentheilchen ein vollständiger Magnet ist. Ein Eisen- oder Stahlstück ist vollständig magnetisirt, wenn die gleichnamigen Pole aller kleinen Urmagnetchen nach der gleichen Seite hin gerichtet sind, während sich ein Eisen- oder Stahlstab in nicht magnetischem Zustande befindet, wenn die gleichnamigen Pole seiner Urmagnetchen nach den verschiedensten Seiten hinschauen, so daß sich ihre Wirkung nach außen gegenseitig aufhebt. Das Magnetisiren eines Eisen- oder Stahlstabes besteht also darin, seine Urmagnetchen mehr und mehr in gleiche Richtung zu bringen.

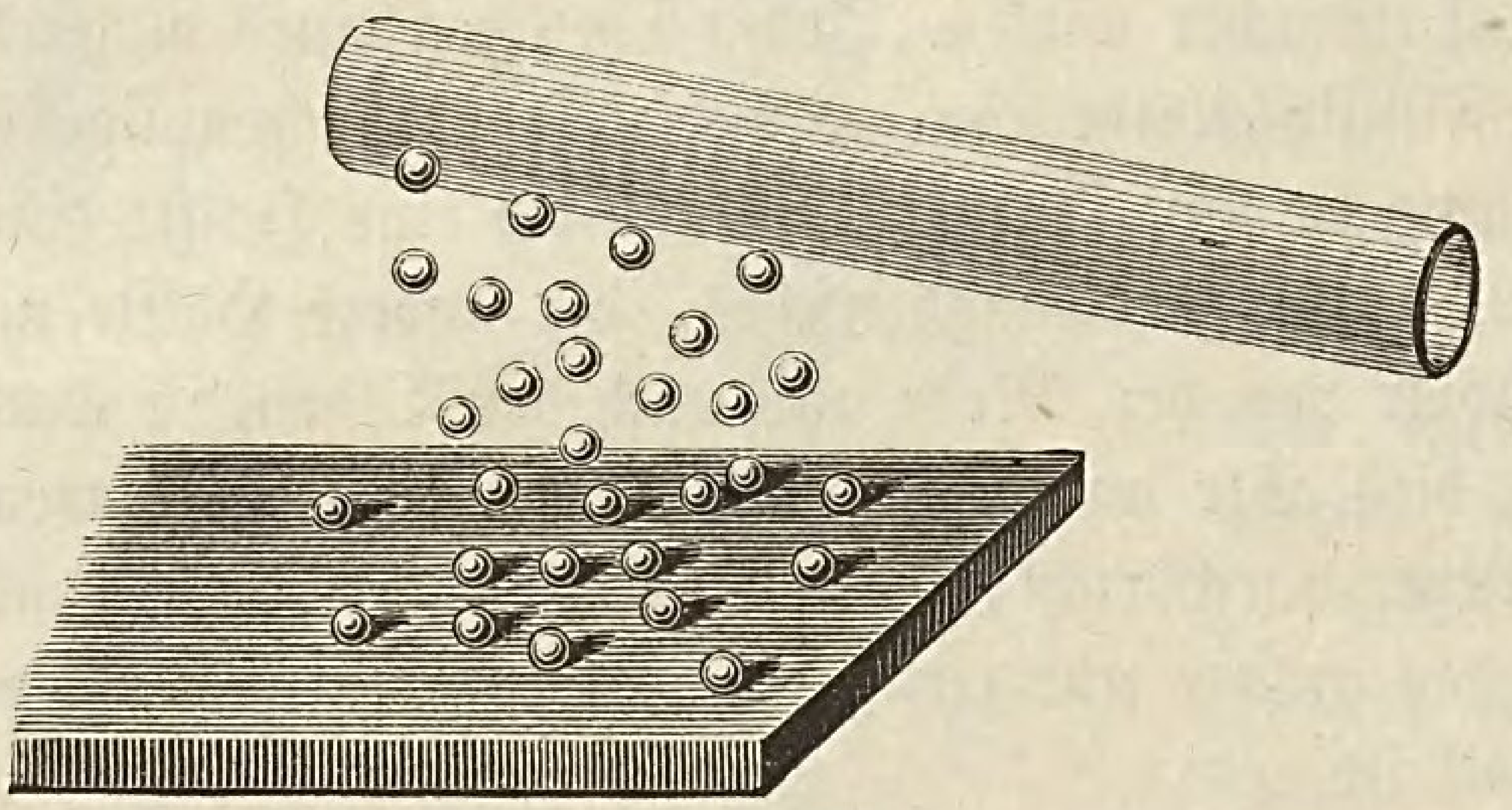
Beim Magnetisiren geht also kein magnetisches Fluidum vom Streichmagnet in den zu magnetisirenden Stab über. Man kann

mit demselben Streichmagnet nach der in Fig. 263, S. 218, erläuterten Weise Hunderte von Stahlstäben magnetisiren, ohne daß er schwächer wird.

112 **Reibungselektricität.** Wenn man mit Wollen- oder Seidenzeug einen Glasstab, eine Porzellanröhre, eine Siegellackstange, einen Stab von Hartgummi u. s. w. kräftig reibt, so erlangen sie die Eigenschaft, leichte Gegenstände, wie Papierschnitzeln, Kügelchen von Hollundermark oder Stückchen von Binsenmark (die man einfach auf den Tisch, besser aber auf ein Blatt Stanniol- oder Silberpapiers, gelegt hat) anzuziehen und alsbald auch wieder abzustoßen, wie Fig. 265 anschaulich machen soll.

Statt eines Stabes von Harz oder Hartgummi kann man mit dem besten Erfolg auch eine Rolle von Pyroxylinpapier anwenden, die man durch möglichst enges Aufrollen von etwa zwei Bogen dieses Papiers erhält. Wird eine solche Rolle von ungefähr 3 Centimeter Durchmesser in der rechten Hand gehalten mit einem Flanelllappen, den man in der linken Hand hält, umfaßt und gerieben, so wird er sehr stark elektrisch.

Fig. 265.



Bei feuchtem Wetter gelingt der Versuch nicht gut, am besten gelingt er aber bei trockenem Wetter in einem geheizten Zimmer (in welchem aber nicht zu viel Personen anwesend sein dürfen, weil sonst durch ihre Ausdünstung sowohl wie durch ihr Athmen die Luft feucht wird), wie denn überhaupt trockene Luft zum Gelingen der Versuche über Reibungselektricität eine wesentliche Bedingung ist.

Nicht alle Glassorten eignen sich für unseren Zweck; in der Regel sind etwas grünliche Glasstangen ganz farblosen vorzuziehen.

Die Kraft, welche diese Erscheinung bewirkt, wird Elektricität genannt. Noch besser, als bei dem eben besprochenen Versuch zeigt sich die elektrische Anziehung beim elektrischen Pendel, Fig. 266, welches im Wesentlichen aus einem an einem leinenen Faden aufgehängten Kügelchen von Hollundermark besteht; wenn man diesem Kügelchen eine geriebene Glas- oder Harzstange nähert, so zeigt sich die Anziehung schon auf ziemliche Entfernung.

Ganz anders gestaltet sich der Versuch, wenn das Kügelchen von Hollundermark nicht an einem leinenen, sondern an einem (wo möglich ungefärbten) seidenen Faden hängt. Jetzt wird das Kügelchen von der elektrischen Stange bei weitem nicht so kräftig angezogen, man muß sie bei weitem mehr nähern, wenn eine Anziehung eintreten soll. Ist aber einmal das angezogene Kügelchen mit der Stange in Berührung gekommen, so wird es, nachdem dieselbe nur kurze Zeit gedauert hat, kräftig abgestoßen.

Nähert man also dem elektrischen Pendel, dessen Gleichgewichtslage in Fig. 266 durch *a* bezeichnet ist, den elektrischen Stab, so wie es die Figur andeutet,

so wird die Hollundermarkkugel zuerst angezogen und bei *b* mit dem Stab in Berührung gebracht, nachher aber abgestoßen und nach *c* getrieben.

Den gleichen Versuch kann man aber auch mit einem geriebenen Glasstab

Fig. 266.

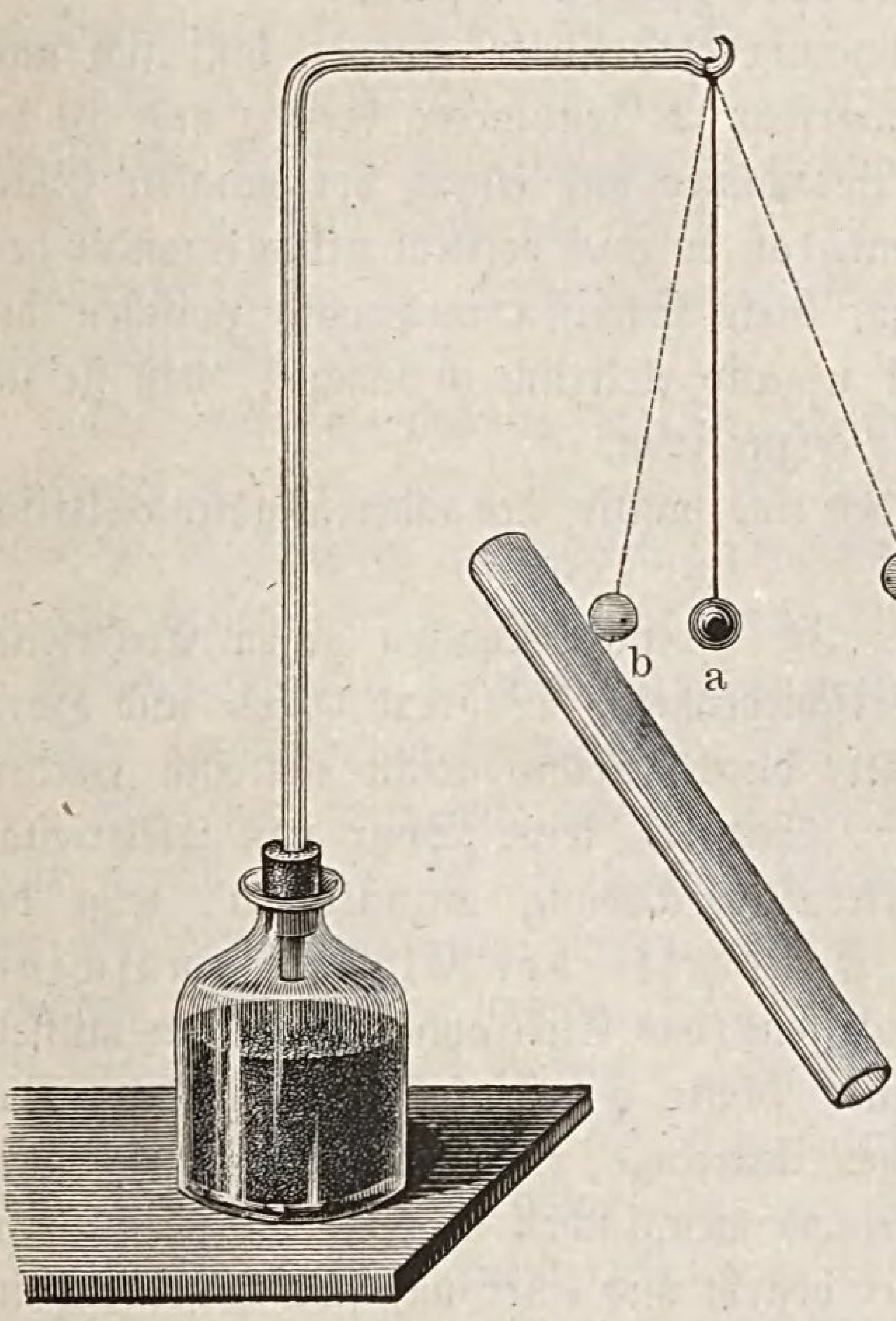
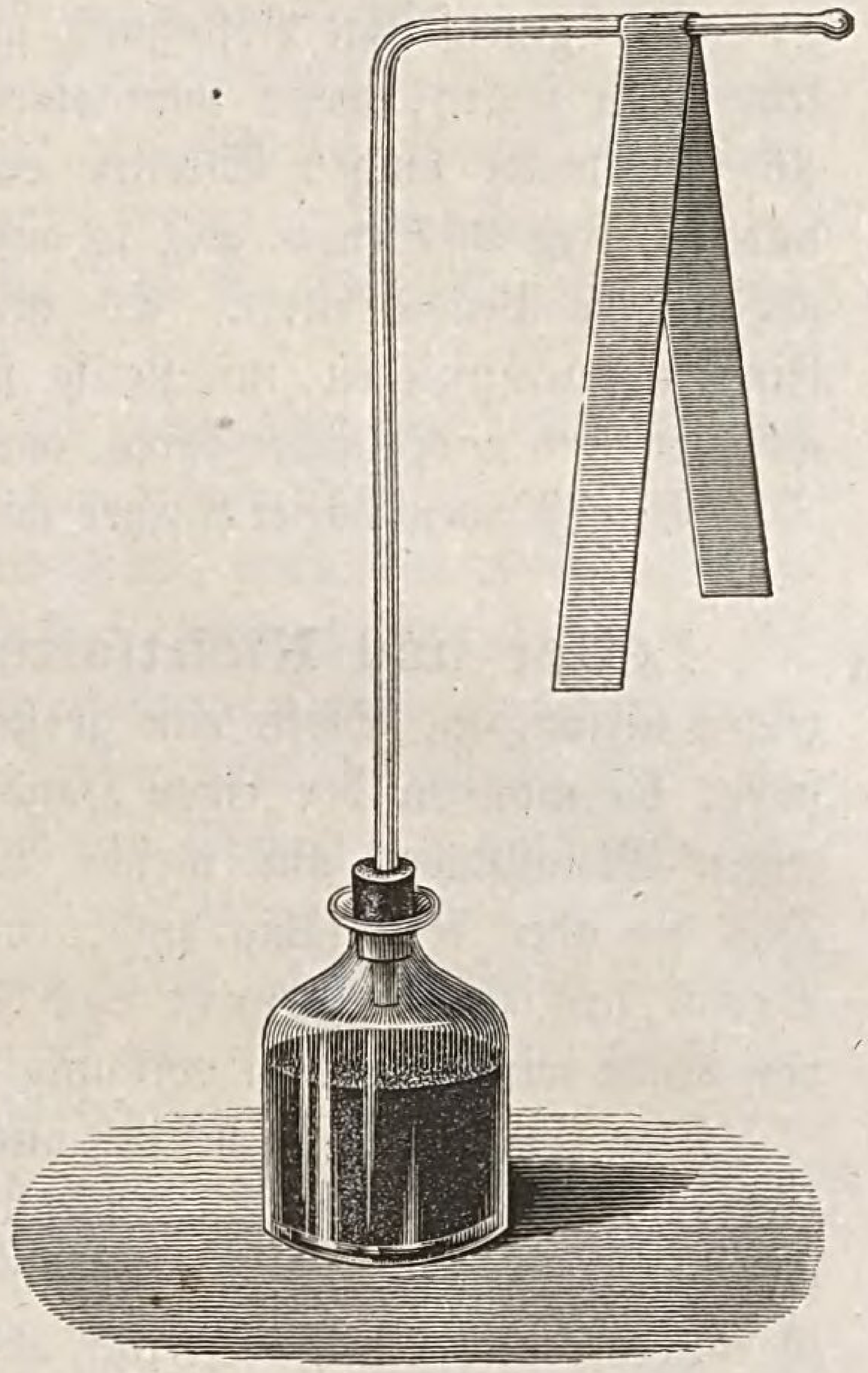


Fig. 267.



anstellen. Das zuerst angezogene Korkkügelchen wird alsbald abgestoßen, nachdem es den Glasstab berührt hatte.

Auf den ersten Anblick scheint also das elektrische Verhalten des geriebenen Glasstabes ganz dasselbe zu sein, wie das der Stange von Hartgummi, von Siegellack oder der Rolle von Pyropapier. Bei näherer Untersuchung zeigt sich aber alsbald ein großer Unterschied; das von dem elektrischen Pyropapier, dem Siegellack und dem Hartgummi abgestoßene Korkkügelchen wird von dem elektrischen Glasstab angezogen. Wir finden also bei den elektrischen Kräften einen ähnlichen Gegensatz, wie wir ihn beim Magnetismus kennen lernten.

Um die bis jetzt besprochenen elektrischen Erscheinungen zu erklären, hat man die Annahme gemacht, daß es zweierlei (unwägbare, imponderabele) elektrische Flüssigkeiten gebe, die man mit dem Namen der positiven und der negativen bezeichnet.

Die positive oder Glaselektricität ist diejenige, die ein Glasstab durch Reiben mit Flanell erlangt, während die negative oder Harzelektricität diejenige ist, welche ein Harzstab (oder auch Pyropapier) erlangt, wenn er gleichfalls mit Flanell gerieben wird.

Ein Körper befindet sich im gewöhnlichen unelektrischen Zustande,

wenn er beide elektrischen Flüssigkeiten in gleichem Maße enthält; er ist elektrisch, wenn er einen Ueberschuß des einen Fluidums enthält.

Zwei Körper, die mit dem gleichen Fluidum geladen sind, oder mit anderen Worten, gleichnamig elektrisirte Körper stoßen sich ab.

Ungleichnamig elektrisirte Körper ziehen sich an.

Die gegenseitige Abstoßung gleichnamig elektrisirter Körper läßt sich auch sehr schön zeigen, wenn man einen ungefähr 2 Centimeter breiten und 30 bis 36 Centimeter langen Streifen von Pyropapier auf einem horizontalen Glasstäbchen, Fig. 267 (a. v. S.), so aufleimt, daß er zwei vertical neben einander herabhängende Pendel bildet. Es genügt, diese Streifen mehrmals zwischen den Fingern durchzuziehen, um sie so stark negativ elektrisch zu machen, daß sie sich abstoßen und auseinanderfahren, wie die Figur zeigt.

Beim Reiben zweier Körper wird der eine positiv, der andere negativ elektrisch.

113 **Leiter und Nichtleiter.** In ihrem Verhalten gegen Elektricität zeigen verschiedene Stoffe eine große Verschiedenheit. Während Glas- und Harzstäbe, die man in der einen Hand hält, durch Reiben leicht elektrisch werden, zeigen Metallstäbe, auf gleiche Weise behandelt, keine Spur von Elektricität. Daß sie aber doch fähig sind, eine elektrische Ladung anzunehmen, zeigt der Deckel des Elektrophors und der Conductor der Elektrisirmaschine, von denen wir hier schon vorläufig wenigstens das Elektrophor betrachten müssen.

Das Elektrophor besteht aus einer Platte *a*, Fig. 268, von Harz oder Hartgummi, welche auf einer metallischen Unterlage, etwa auf einem mit Stanniol überzogenen Brette liegt und aus einem metallischen Deckel *b*. Dieser Deckel ist entweder aus Blech verfertigt, oder er besteht aus einer ungefähr zolldicken, am Rande abgerundeten und mit Stanniol überzogenen Holzscheibe. Getragen wird der Deckel entweder von drei seidenen Schnüren, wie Fig. 268 zeigt, oder von einem Glasstab, welcher mittelst einer messigenen Fassung in der Mitte der

Fig. 268.

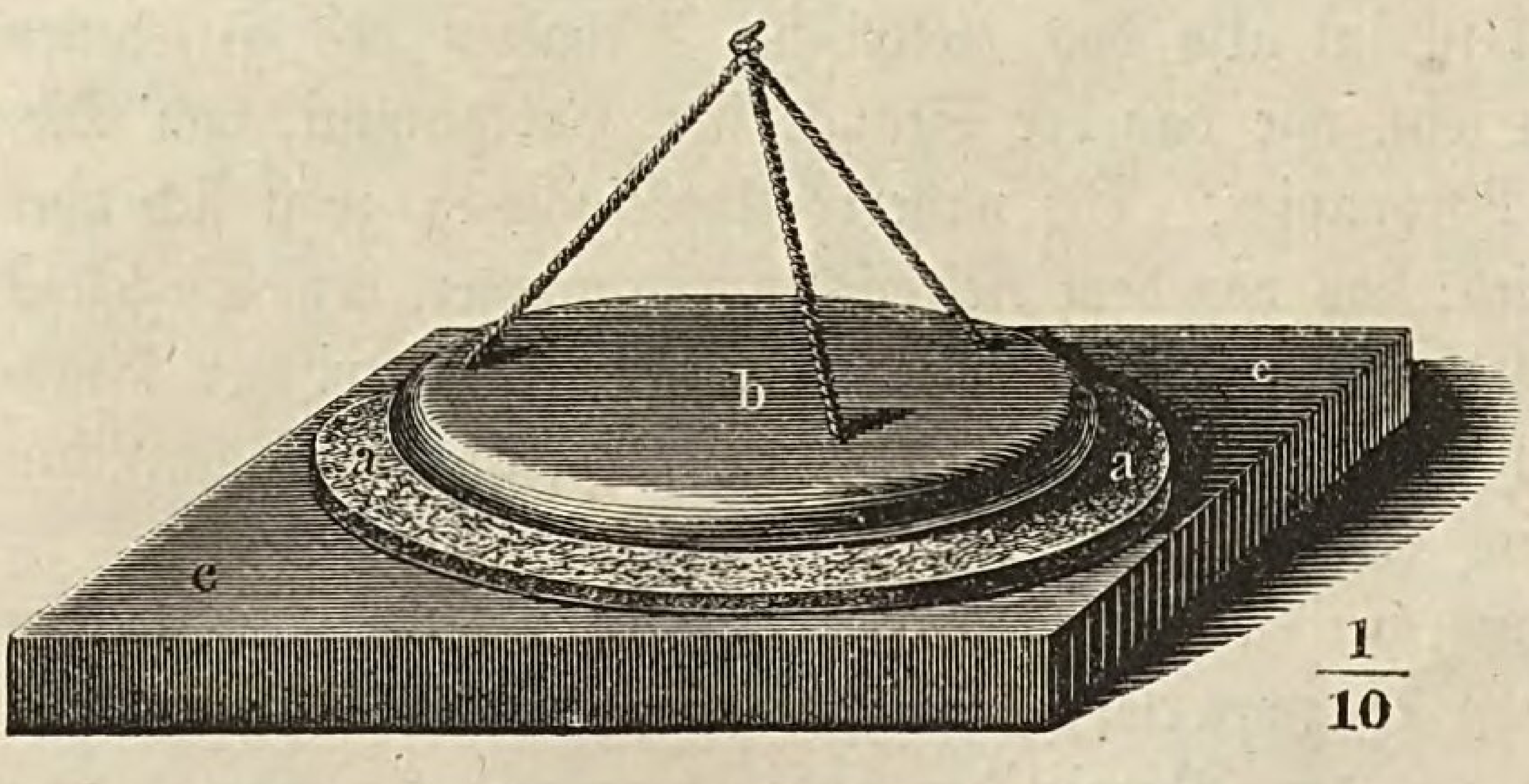
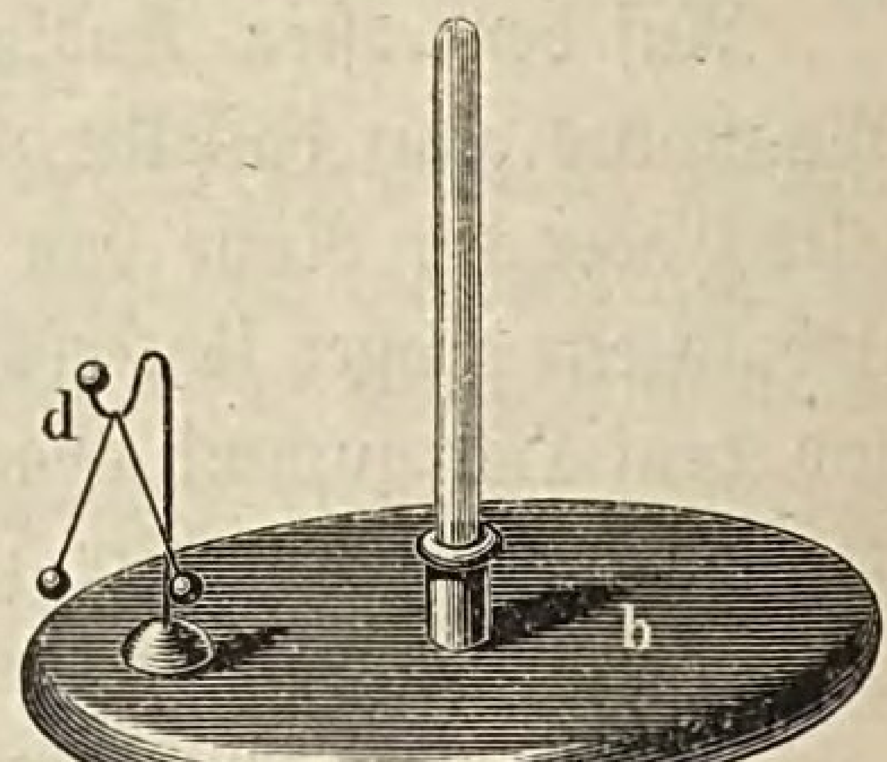


Fig. 269.



Scheibe eingeschraubt ist, wie Fig. 269 zeigt. Von dem Apparat *d*, welchen unsere Figur noch zeigt, wird erst später die Rede sein; beim gewöhnlichen Gebrauch des Elektrophors ist er nicht vorhanden, man denke sich ihn also vor der Hand ganz weg.

Um elektrische Ladungen mit Hülfe des Elektrophors zu erzielen, wird zunächst der Deckel *b* entfernt und die Platte *a* tüchtig mit einem Fuchsschwanz

oder einem Katzenpelz gepeitscht, wodurch sie stark negativ elektrisch wird. Auf diesen negativ elektrischen Kuchen (wie die Platte *a* auch öfters genannt wird) setzt man dann den Deckel *b* auf, den man alsdann ableitend mit dem Finger berührt. Auf diese Weise ist nun auch dem Deckel *b* eine elektrische Ladung ertheilt, die sich alsbald zu erkennen giebt, sobald man ihn am oberen Ende des Glasstabes oder am Vereinigungspunkt der drei Schnüre fassend von dem Kuchen *a* abhebt.

Der so behandelte und an dem Glasstab (oder den Seidenschnüren) gehaltene Deckel übt nun die kräftigste Anziehung auf das elektrische Pendel, Fig. 266, S. 221, aus und stößt es, falls es an einem seidenen Faden hängt, nach der Berührung kräftig ab, kurz die metallische Oberfläche des Deckels zeigt nun eine starke elektrische Ladung.

Die elektrische Ladung des Deckels läßt sich auch sehr gut mit Hülfe des Apparates *d*, Fig. 269, zeigen. Er besteht aus einem Messingdraht, welcher unten in einen Fuß von Messing oder Blei eingesetzt, oben aber etwas umgebogen und dessen oberes Ende mit einer kleinen Siegellackkugel versehen ist. An der Krümmung des Drahtes hängen zwei von leinenen Fäden getragene Korkkügelchen gerade herab, so lange der Deckel keine freie elektrische Ladung hat.

Setzt man nun, während der Deckel *b* auf dem Kuchen *a* aufsitzt, den Apparat *d* auf den Deckel, so hängen die Pendel zunächst gerade herunter, sobald man aber den Deckel, am oberen Ende des Glasstabes (oder der Seidenschnüre) anfassend, vom Kuchen abhebt, fahren die Pendel von *d* auseinander, wie Fig. 269 zeigt, Beweis einer kräftigen elektrischen Ladung des Deckels.

Berührt man nun den elektrischen Deckel *b*, während man ihn mit der einen Hand (mittelst des Glasstabes oder der Seidenschnüre) in die Höhe hält, mit einer in der anderen Hand gehaltenen Stange Siegellack, einem Stabe von Hartgummi, einem geeigneten Glasstab oder mit einer Rolle von Pyropapier, so verlieren die Pendel bei *d* ihre gegenseitige Abstoßung nicht, höchstens nähern sie sich einander ganz wenig. Es geht daraus hervor, daß durch Berührung mit den oben genannten Stäben dem Metalldeckel *d* seine elektrische Ladung nicht entzogen wird. Berührt man aber den Deckel *b*, Fig. 269, in gleicher Weise mit einem Metallstäbchen oder auch nur mit der Hand, so fallen die Pendel augenblicklich zusammen, es verschwindet jede Spur einer elektrischen Ladung von dem Deckel *d*.

Durch Metallstäbe und den menschlichen Körper kann also alle Elektricität vom Dekel *b*, Fig. 269, abgeleitet werden; Metalle und der menschliche Körper sind Leiter der Elektricität, es sind Conductoren. Durch Glas, Harz, Hartgummi, Pyropapier u. s. w. kann die Elektricität des metallischen Deckels *b*, Fig. 269, nicht abgeleitet werden, es sind Nichtleiter, es sind Isolatoren der Elektricität.

Um überhaupt einem metallischen Körper eine elektrische Ladung ertheilen zu können, muß er von lauter Nichtleitern umgeben, er muß isolirt sein. Deshalb stehen die elektrischen Conductoren auf Stäben von Glas oder Hartgummi oder sie sind an seidenen Schnüren aufgehängt, weil Seide gleichfalls ein elektrischer Isolator ist. Leinene Fäden sind ziemlich gute Leiter der Elektricität und dadurch erklärt sich der Unterschied im Verhalten des elektrischen Pendels Fig. 266, Seite 221,

je nach dem die Hollundermark-Kugel an einem leinenen oder an einem seidenen Faden aufgehängt ist.

Nicht alle Glassorten sind gute Isolatoren; man findet eben sehr häufig Glasstäbe, Glasplatten und Glasgefäße, welche die Elektricität ziemlich gut leiten. Berührt man den geladenen Conductor *b*, Fig 269, mit einem derartigen Glase, so fallen die elektrischen Pendel bei *d*, wenn auch nicht plötzlich, doch ziemlich rasch zusammen. Solche Glassorten sind natürlich zur Construction elektrischer Apparate ganz unbrauchbar. Würde z. B. die metallische Platte *b*, Fig. 269, durch einen derartigen Glasstab getragen, so wäre sie unfähig, eine kräftig elektrische Ladung zu halten, weil alle auf ihr angehäufte Elektricität in kurzer Zeit durch den Glasstab und die Hand, welche ihn oben hält, abströmt.

Leider schenken viele Mechaniker, welche physikalische Apparate construiren, diesem Umstand nicht die gehörige Aufmerksamkeit, sie wenden statt der meist besser isolirenden grünen Glasstäbe schön farblose an, durch welche die Apparate unbrauchbar werden und nur dazu taugen, als Schaustücke in den Schrank gestellt zu werden.

Auch sonst gute Glasstäbe werden bei feuchtem Wetter leitend, weil sich Wasserdampf auf ihnen niederschlägt, weshab denn auch feuchte Witterung zur Anstellung elektrischer Versuche sehr ungeeignet ist.

Was seidene Schnüre und Bänder anlangt, ist zu rathen, nur ungefärbte zu verwenden, indem mit Metallfarben gefärbte, namentlich blaue und grüne, immerhin etwas leitend sind.

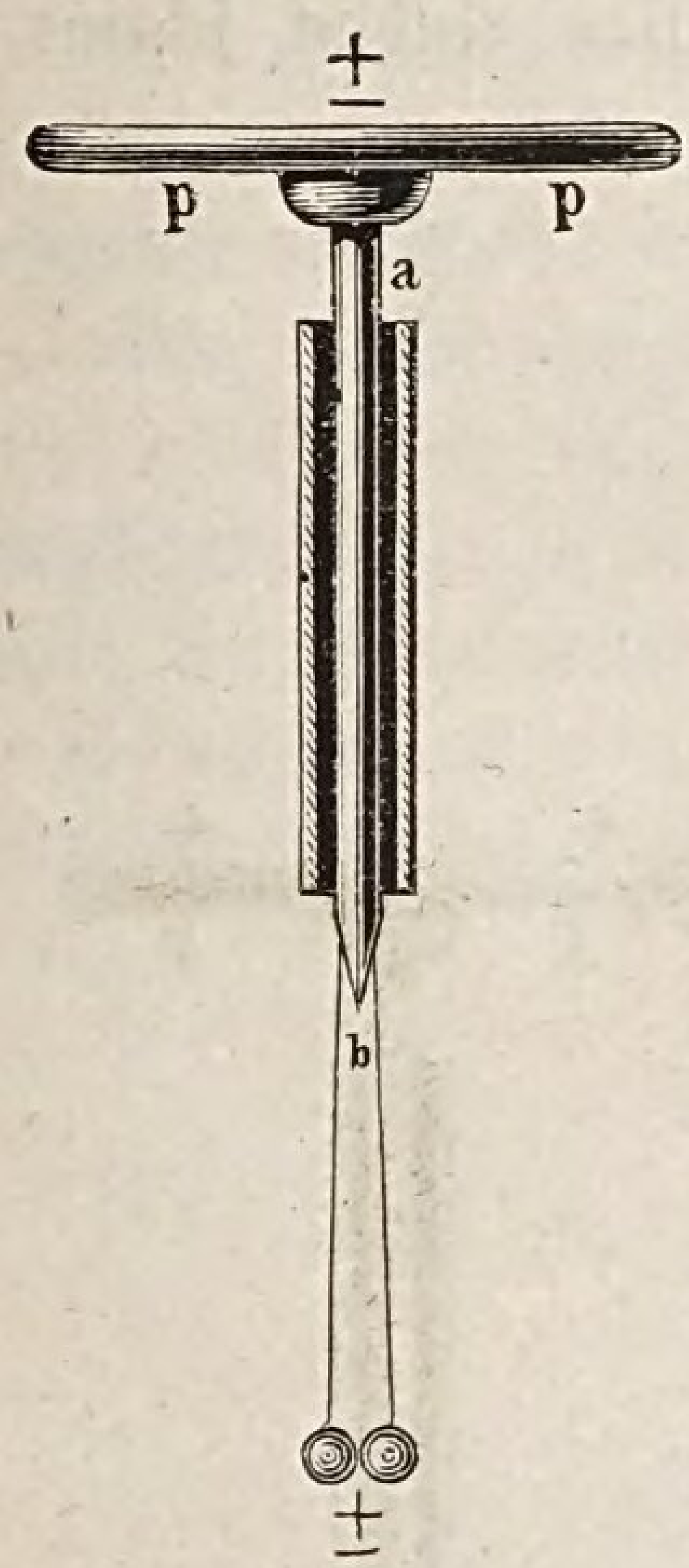
Wie wir schon gesehen haben, fallen die elektrischen Pendel bei *d* augenblicklich zusammen, wenn man den geladenen Conductor *b*, Fig 269, mit der Hand berührt. Deshalb kann man auch einen in der einen Hand gehaltenen Metallstab durch Reiben nicht elektrisch machen, weil alle durch Reiben in ihm entwickelte Elektricität sogleich durch den menschlichen Körper in den Boden abgeleitet wird, während ein Stab von Glas oder Harz seine elektrische Ladung nicht so leicht abgiebt.

Eine metallische Oberfläche nimmt also leicht eine elektrische Ladung an und giebt sie leicht ab, was bei Isolatoren nicht der Fall ist.

Um den Unterschied zwischen Leitern und Nichtleitern der Elektricität nachzuweisen, haben wir uns eines Elektrophordeckels bedient; es versteht sich aber von selbst, daß man zu demselben Zweck jeden anderen isolirten und mit elektrischen Pendeln versehenen Leiter, etwa den Conductor der Elektrisirmaschine oder auch das im nächsten Paragraph zu besprechende Elektrometer verwenden kann.

114 **Elektrische Vertheilung.** Fig. 270 stellt einen Apparat vor, welcher folgendermaßen construirt ist. In einem wohl isolirenden Glasröhrchen ist ein Messingstäbchen mit Siegellack eingekittet, welches oben und unten etwas hervorragt. Oben ist auf das Messingstäbchen eine Messingplatte *pp* aufgeschraubt, während an seinem unteren Ende irgend welche elektrische Pendel angebracht sind. Als elektrische Pendel können Korkkügelchen dienen, welche an leinenen Fäden hängen, wie sie bereits besprochen wurden und wie sie in Fig. 270 dargestellt sind. Solche elektrische Pendel sind freilich nicht sehr empfindlich und es

Fig. 270.

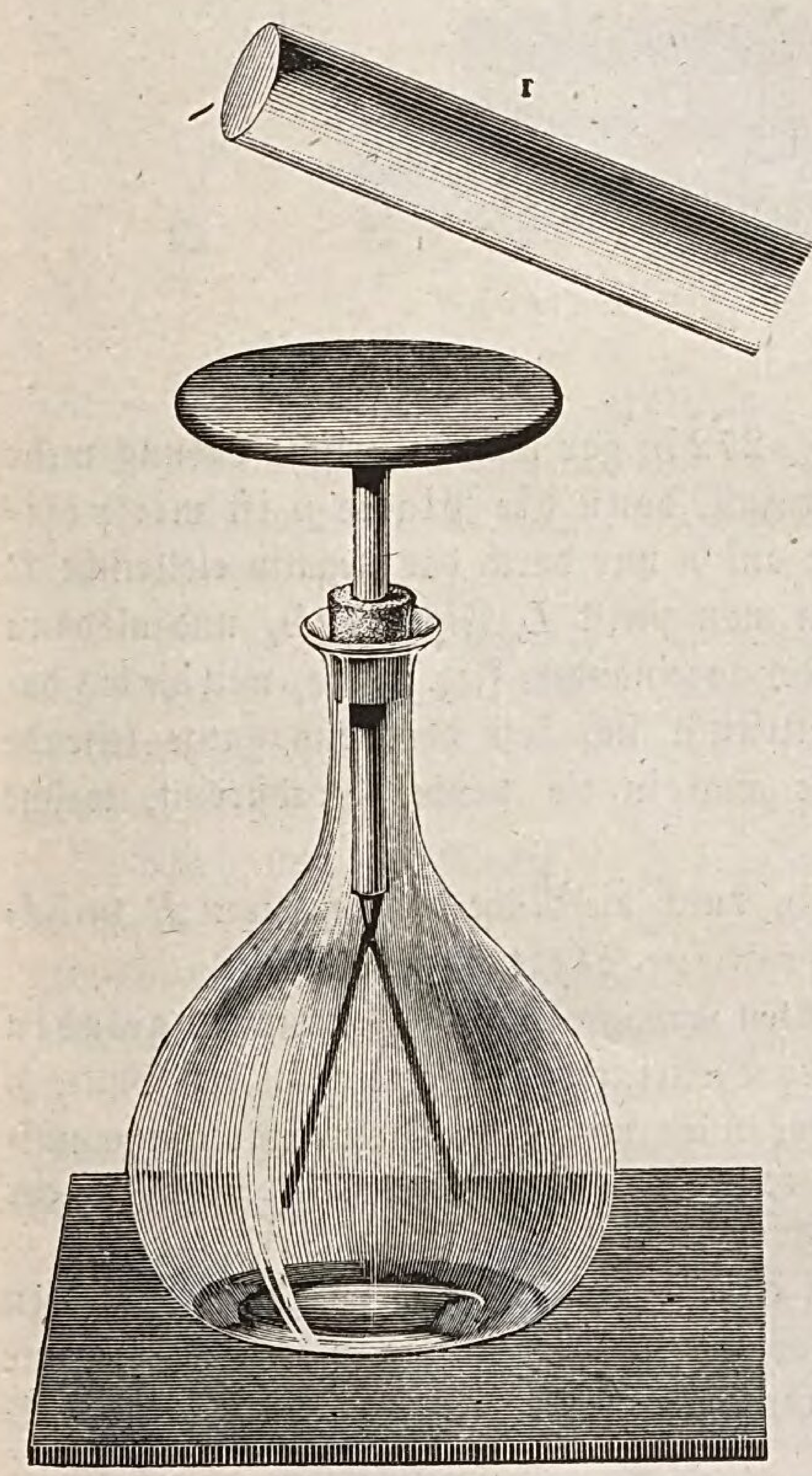


bedarf einer ziemlich starken Ladung, um sie zur Divergenz zu bringen; empfindlicher sind Pendel von Binsenmark oder feine Strohhälmchen (nicht solche von Getreide-, sondern von feinen Grashalmen), am empfindlichsten aber Streifen von Blattgold, welche am unteren, etwas zugeschärften Ende des Messingstäbchens befestigt sind.

Um die elektrischen Pendel vor Luftströmungen zu schützen, was bei den empfindlicheren Goldblatt-Pendeln unbedingt nothwendig ist, wird die eben beschriebene Vorrichtung mittelst eines Korkes in den Hals eines passenden Glasgefäßes eingesetzt, wie Fig. 271 zeigt. Eine derartige Vorrichtung führt den Namen eines Elektrometers.

So lange das Elektrometer sich noch in unelektrischem Zustande befindet, wie in Fig. 270 dadurch angedeutet ist, daß die Platte sowohl wie auch die Pendelkugeln mit ± bezeichnet sind, hängen die beiden Pendel neben einander gerade herunter.

Fig. 271.

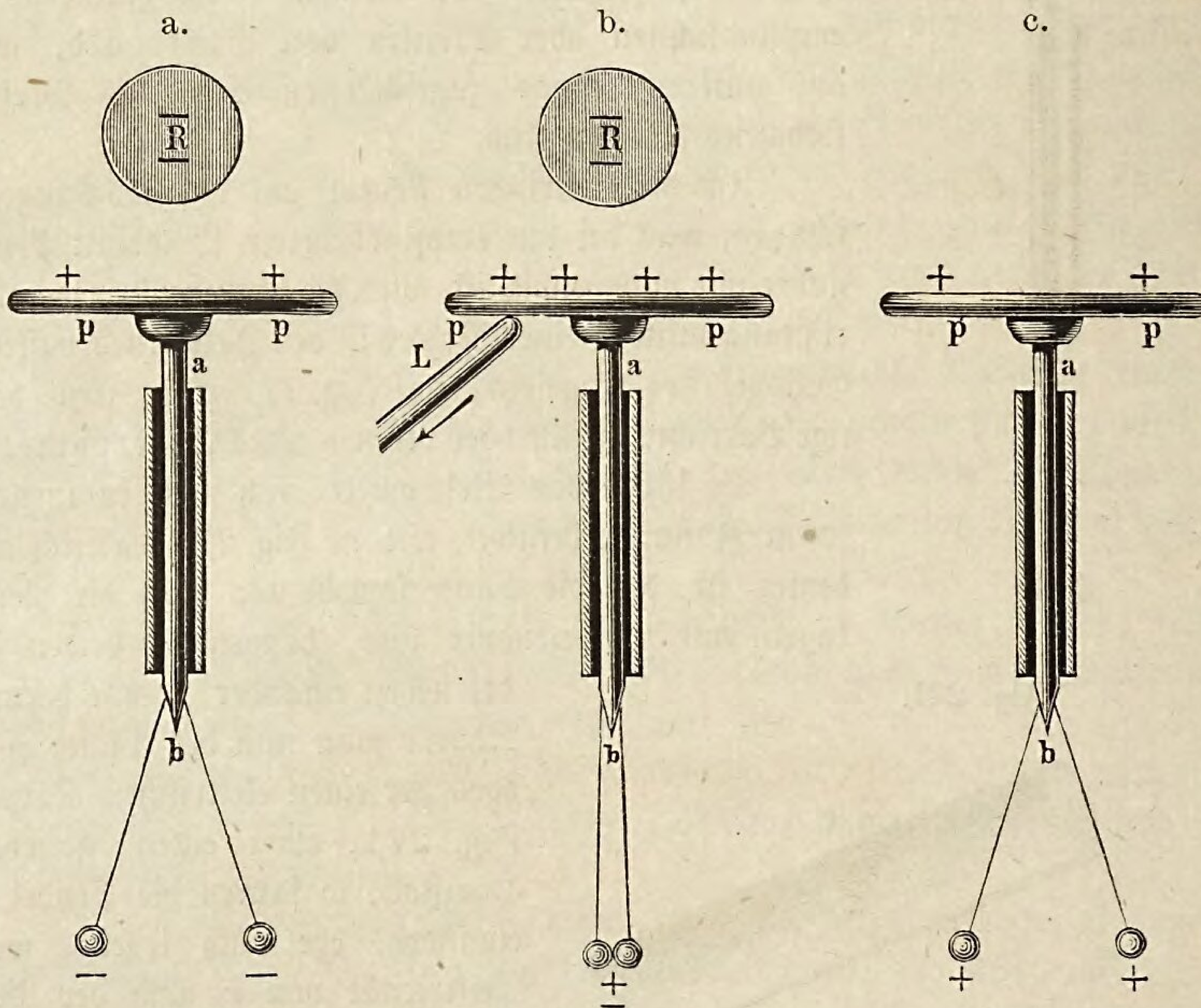


Nähert man nun der Platte *p* von oben her einen elektrischen Körper *r*, Fig. 271, etwa einen geriebenen Harzstab, so fahren die Pendel aus einander, ehe noch irgend welche Elektricität von *r* nach der Platte übergegangen sein kann, was man auch zum Ueberfluß noch dadurch verhindern kann, daß man eine Glasplatte auf *p* legt. Es läßt sich dies leicht erklären: der negativ elektrische Körper *R*, Fig. 272 a (a. f. S.), treibt die gleichnamige Elektricität aus der Platte *p* in die Pendel herunter und zieht die ungleichnamige positive Elektricität in die Platte hinauf, wie dies in der Figur angedeutet ist; er vertheilt also die bis dahin im isolirten Leiter verbunden gewesenen Elektricitäten.

Wird nun, während *R* an seiner Stelle bleibt, die Platte *p* mit einem Metallstäbchen *L*, Fig. 272 b, oder auch nur mit dem Finger, ableitend berührt, so fallen die Pendel wieder zusammen, weil die abgestoßene Elektricität zum Theil durch *L*

entweicht und soviel angezogene + Elektricität zuströmt, daß die Pendel wieder in den unelektrischen Zustand zurückkehren. Auf den ersten Anblick scheint es

Fig. 272.



nun, als ob in dem isolirten Leiter, Fig. 272 b, gar keine elektrische Ladung mehr vorhanden wäre. Dies ist jedoch nicht der Fall, denn die Platte *p* ist mit positiver Eelektricität geladen, welche auf *p* nur durch das negativ elektrische *R* zurückgehalten wird, wie sich zeigt, wenn man zuerst *L*, Fig. 272 b, und alsdann *R* entfernt. Nun fahren die Pendel wieder auseinander, Fig. 272 c, weil die bis dahin auf *p* zurückgehaltene positive Elektricität sich frei über das ganze leitende System verbreiten kann, also theilweise auch in die Pendel herabströmt, welche jetzt mit + *E* auseinander fahren.

Die auf der Platte *p*, Fig. 272 b, durch die Nähe des negativen *R* zurückgehaltene + *E* bezeichnet man als gebundene Elektricität.

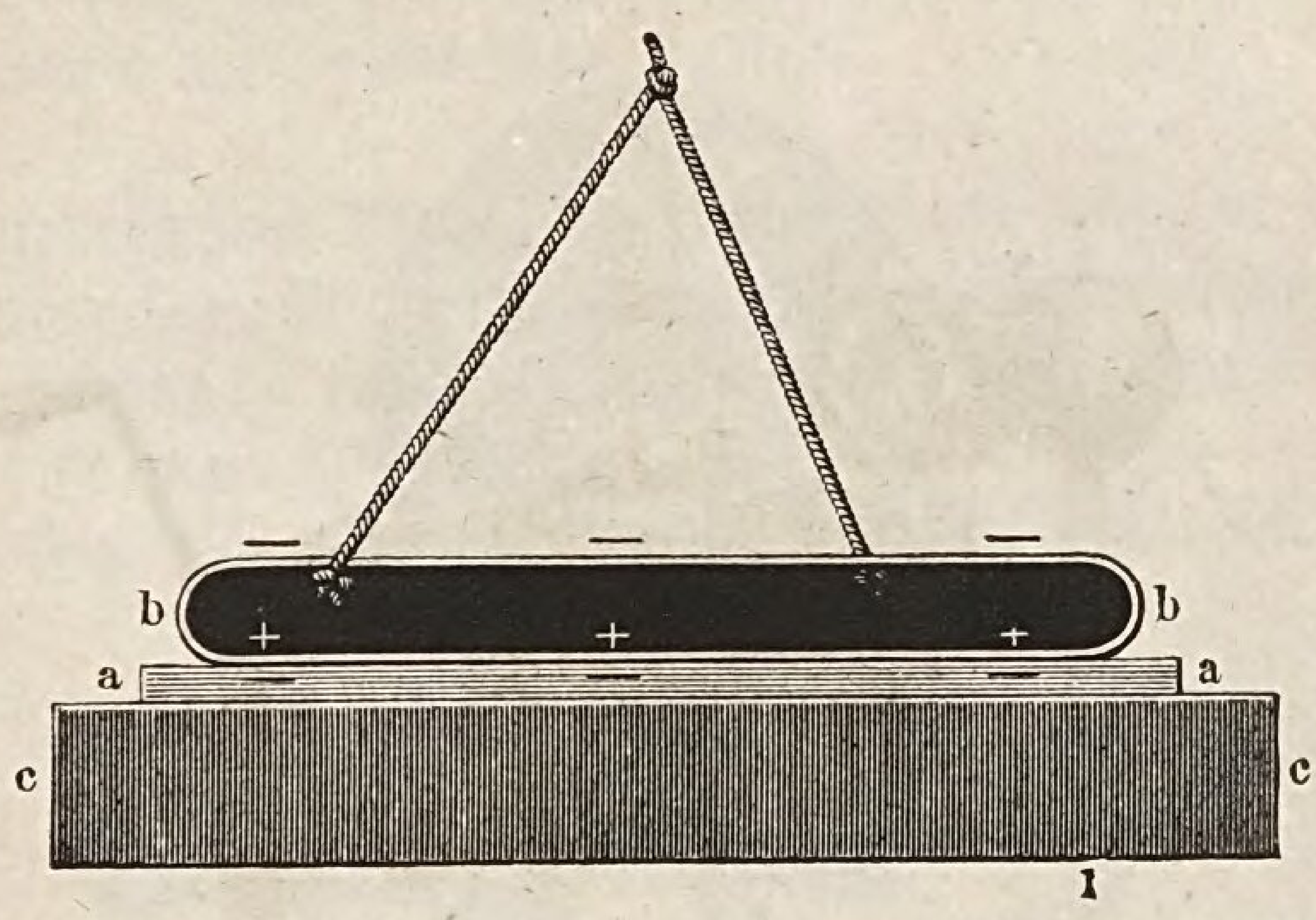
In dem durch Fig. 272 c dargestellten Zustand ist das Elektrometer geladen und zwar in unserem Fall mit positiver Elektricität. Nähert man der Platte *p* des geladenen Elektrometers von oben her einen mit seiner Elektricität gleichnamigen Körper, so fahren die Pendel noch weiter auseinander, sie fallen dagegen mehr zusammen, wenn man einen ungleichnamig elektrischen Körper nähert.

Bei der eben besprochenen Ladung des Elektrometers ist von dem elektrischen Körper *R* keine Elektricität auf das Elektrometer übergegangen, *R* hat nur vertheilend auf die bis dahin noch verbundenen Elektricitäten des isolirten Leiters gewirkt.

Das Elektrophor. Wir haben im vorigen Paragraphen die Lehre 115
von der elektrischen Vertheilung etwas ausführlicher betrachten müssen, weil darauf die Wirkung des Elektrophors und der Elektrisirmaschine beruht, welche vorzugsweise als Elektricitätsquellen zu elektrischen Versuchen benutzt werden.

Wir haben das Elektrophor bereits auf Seite 222 kennen gelernt; seine Wirkung erklärt sich folgendermaßen: Der Kuchen wird durch Schlagen mit dem Fuchsschwanz negativ elektrisch. Wird nun auf die negativ elektrische Harzplatte ein Metalldeckel aufgesetzt, welcher möglichst eben sein muß, so geht die — *E* von dem Kuchen nicht auf den Deckel über, weil eben der Kuchen ein schlechter Elektricitätsleiter ist, aber sie wirkt vertheilend auf den metallischen Deckel.

Fig. 273.



Die — *E* des Deckels wird abgestoßen und sammelt sich an der oberen Fläche des Deckels, während die vom Kuchen angezogene + *E* sich an der unteren Fläche des Deckels sammelt, wie Fig. 273 andeutet, und sich hier in gebundenem Zustand befindet.

In Fig. 273 ist allerdings ein hohler von Seidenfäden getragener Metalldeckel dargestellt, die elektrische Vertheilung erfolgt aber ganz ebenso, wenn man einen mit Stanniol überzogenen Holzdeckel oder einen massiven Metalldeckel anwendet, welcher von einem Glasstab getragen wird.

Wird nun der Deckel *b*, Fig. 273, ableitend mit dem Finger berührt, so wird alle abgestoßene — *E* von demselben abgeleitet und er bleibt nur mit gebundener + *E* geladen wie die Platte *p*, Fig. 272 b, wenn man *L* entfernt, das negative *R* aber an seiner Stelle bleibt.

Die in *b*, Fig. 273, gebundene + *E* wird aber frei, wenn man den Deckel *b* mittelst der seidenen Schnüre oder des Glasstabes isolirt abhebt und ihm dadurch den bindenden Einfluß des Kuchens *a* entzieht.

Nähert man dem so aufgehobenen und isolirt in die Höhe gehaltenen Deckel den Finger, so springt alsbald ein elektrischer Funken vom Deckel auf den Finger über und bei vollständiger Berührung folgt eine vollständige Entladung des Deckels.

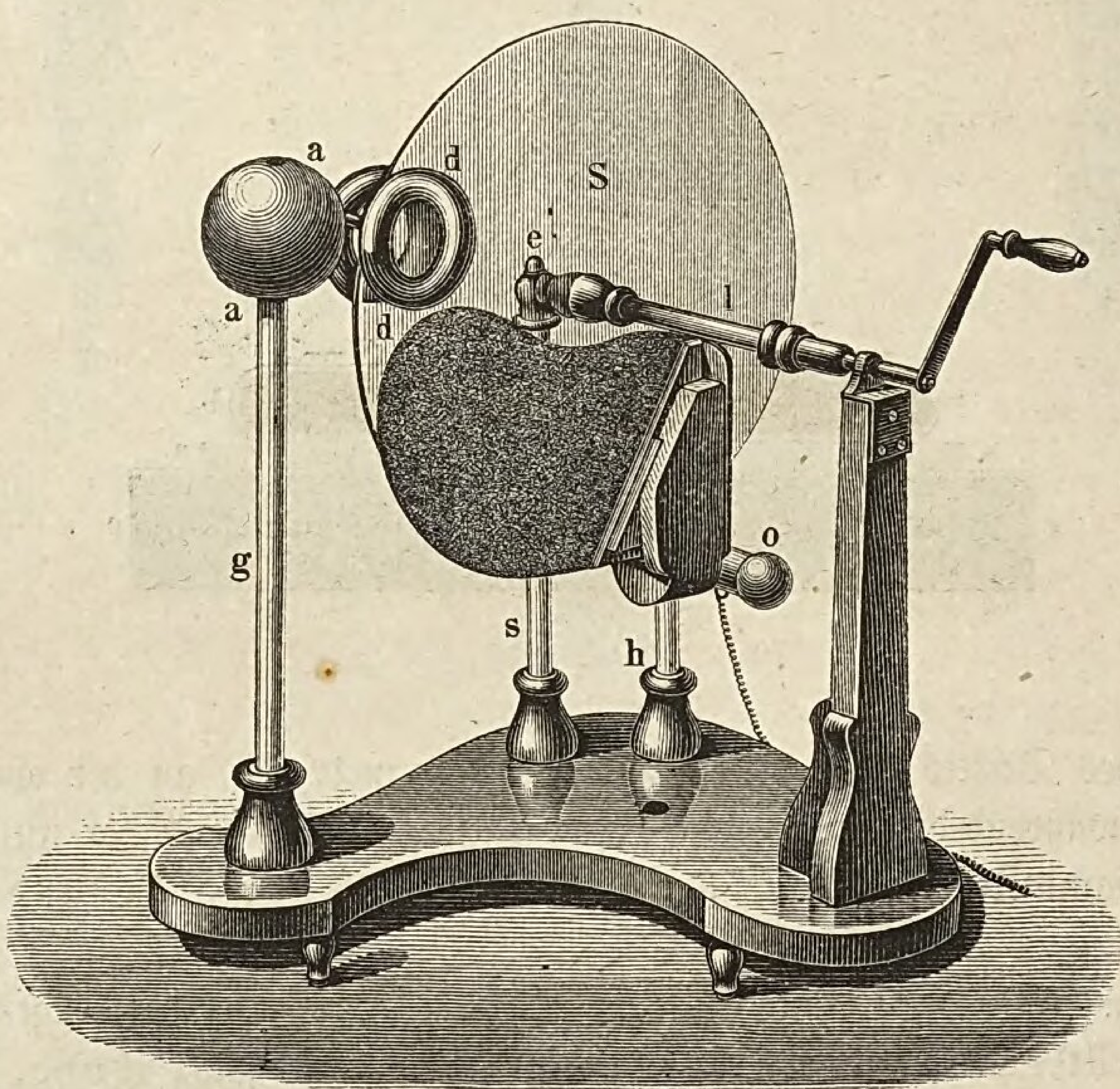
Da bei dieser Operation der Deckel durch Vertheilung elektrisch wird, so geht keine Elektricität vom Kuchen auf den Deckel über, der Kuchen verliert

keine Elektricität an den Deckel, man kann also die eben beschriebene Operation beliebig oft wiederholen, dem Deckel eine neue positive Ladung ertheilen, ihm abermals einen Funken entziehen.

Den Harzkuchen *a* des Elektrophors kann man durch eine Lage von 8 bis 12 Bogen Pyropapiers ersetzen und so ein vortreffliches und doch sehr billiges Elektrophor herstellen.

116 **Die Elektrisirmaschine.** Das Elektrophor genügt beim elementaren Unterricht allerdings, um die wichtigsten Lehren über Reibungselektricität zu erläutern, eine reichere Elektricitätsquelle ist aber die Elektrisirmaschine, die wir deshalb doch auch noch etwas betrachten müssen. Von den verschiedenen Formen,

Fig. 274.



welche man der Elektrisirmaschine gegeben hat, können wir natürlich nur eine betrachten und zwar wählen wir dazu eine der praktischsten, die in Fig. 274 abgebildete.

Die um ihre horizontale Axe *el* drehbare Glasscheibe *S* bewegt sich bei ihrer Umdrehung mit sanfter Reibung zwischen zwei Lederscheiben hindurch, welche, mit Amalgam (aus Quecksilber und Zink bestehend) überzogen und auf Holzbrettchen befestigt sind. Dieses Reibzeug ist von einem Glasfuß *h* getragen und mit einem messingenen Conductor *o* versehen. Die durch Reibung positiv-elektrisch gemachte Glasscheibe gelangt nun nach weiterer Drehung zwischen die beiden Holzringe *d*, um hier ihrer Ladung wieder beraubt zu werden; damit sich aber auf dem Wege vom Reibzeug bis *d* die Elektricität nicht verliert, ist das Reibzeug mit zwei Lappen von Wachstaffet (eine isolirende Substanz) versehen, zwischen denen sich die Glasscheibe eine Strecke weit fortbewegt.

Die beiden Holzringe *d* stecken an der von der Glassäule *g* getragenen

hohlen Messingkugel a, welche den Hauptconductor der Maschine bildet. Auf ihrer gegen die Glasscheibe gerichteten Seite sind diese Holzringe mit Metallspitzen versehen, welche mit dem Conductor a leitend verbunden sind. Die positiv-elektrische Glasscheibe wirkt vertheilend auf diese Vorrichtung, die angezogene $- E$ strömt durch die Spitzen auf die Scheibe aus, während der Conductor a mit $+ E$ geladen bleibt.

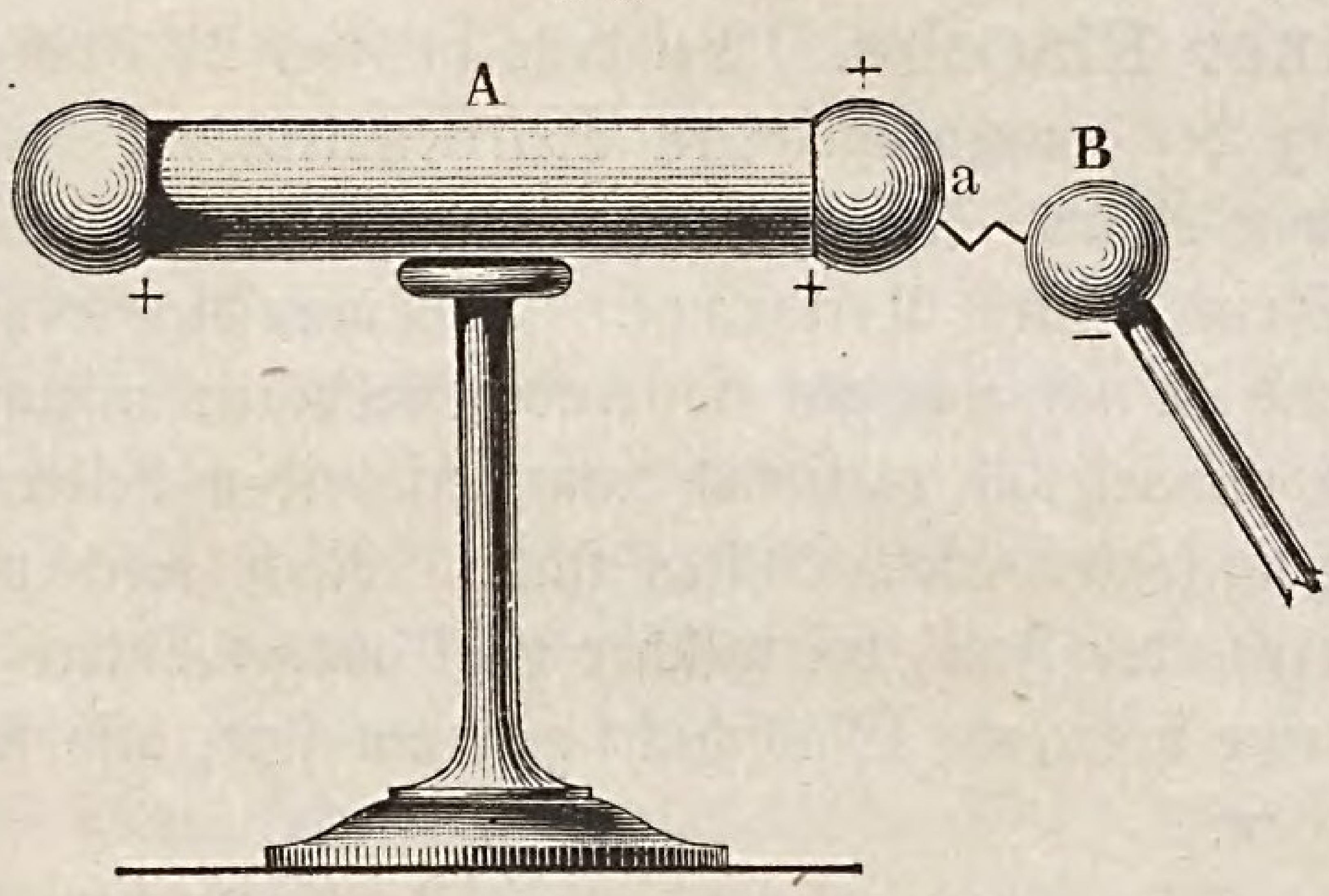
Damit nun am Reibzeug stets eine lebhafte Elektricitätsentwickelung stattfinden könne, muß die $- E$ des Reibzeugs stets abgeleitet werden, was dadurch geschieht, daß der Conductor o durch eine Metallkette mit dem Boden leitend verbunden wird.

Aus dem Conductor a kann man Funken positiver Elektricität ziehen. Wird aber a mit dem Boden leitend verbunden, während o isolirt bleibt, so giebt der Reibzeugsconductor o negativ-elektrische Funken.

Der elektrische Funke. Nachdem wir nun im Elektrophor und in der Elektrisirmaschine Mittel gefunden haben, isolirten Leitern eine ziemlich starke elektrische Ladung zu ertheilen, können wir nun auch die Bildung des elektrischen Funkens näher betrachten. 117

Es sei A, Fig. 275, ein isolirter metallischer Leiter, der etwa mit $+ E$

Fig. 275.



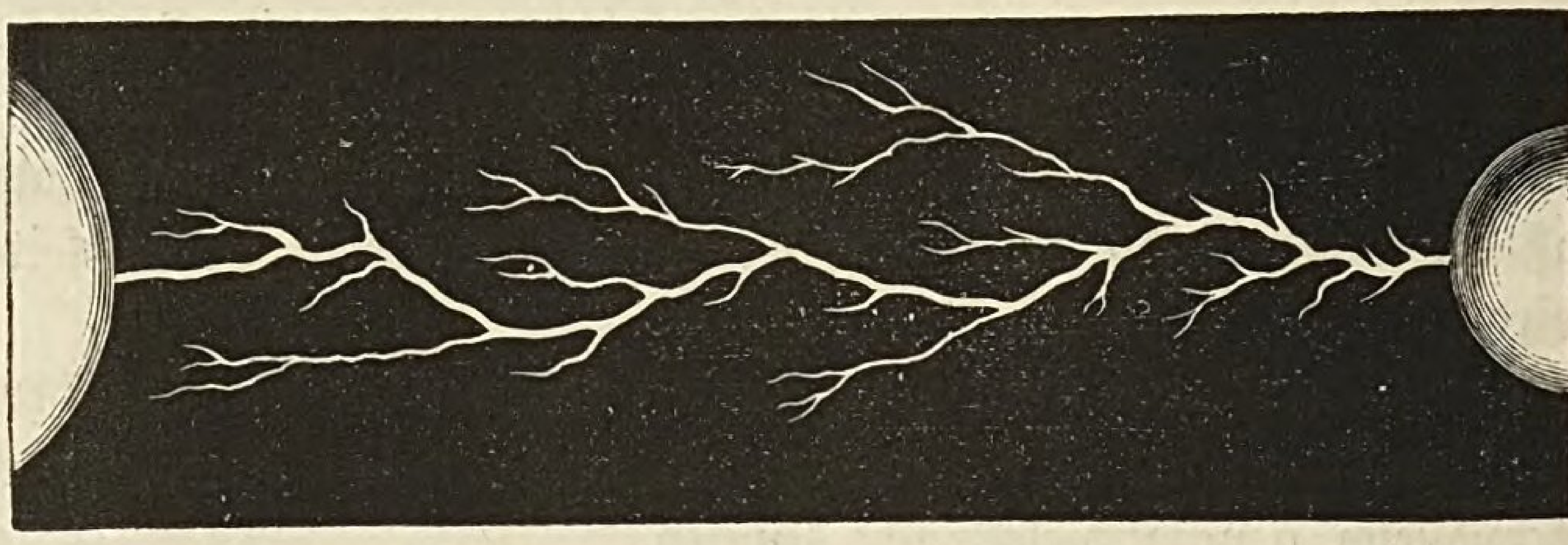
geladen sein mag. (Man kann zu diesem Versuch statt des Conductors A, Fig. 275, sehr gut den geladenen Elektrophordeckel b, Fig. 269, oder den Conductor a der Elektrisirmaschine, Fig. 274, in Anwendung bringen.) Wird nun dem geladenen Conductor A eine mit dem Boden in leitender Verbindung stehende Messingkugel B (oder auch nur der Finger) genähert, so wirkt zunächst A vertheilend auf B. Die $+ E$ strömt aus B in den Boden über, während B selbst mit $- E$ geladen wird. Die $- E$ auf der Kugel B wirkt anziehend auf die $+ E$ des Conductors A zurück und bewirkt, daß sie sich mehr und mehr bei a anhäuft.

Je näher nun B herankommt, desto mehr häufen sich in a und auf B die entgegengesetzten Elektricitäten an, desto stärker wird ihre gegenseitige Anziehung, bis sie endlich so stark wird, daß sie die trennende Luftschicht durchbrechen und in Form eines elektrischen Funkens zu einander übergehen.

Aus einem Elektrophordeckel kann man geradlinige Funken von 1 bis 3 Cen-

timeter Länge ziehen. Der Conductor einer guten Elektrisirmaschine liefert Funken von 5 bis 25 Centimeter Länge. Die längeren Funken sind aber nicht mehr geradlinig, sondern sie haben die Form geschlängelter, vielfach verästelter Linien, wie es Fig. 276 zeigt.

Fig. 276.



Der Blitz ist ein elektrischer Funke in großartigstem Maaßstab, auch er bildet geschlängelte Linien, nie aber besteht er aus geradlinigen, spitze oder stumpfe Winkel mit einander bildenden Stücken, wie man ihn meistens abgebildet findet.

Schon der schwächste elektrische Funke ist im Stande, Knallgas zu entzünden; stärkere Funken entzünden Aether, Pulver etc. Allgemein bekannt ist die zündende Kraft des Blitzes.

118 **Die Leydner Flasche.** Bei dem in Fig. 275 dargestellten Versuch kann die Anhäufung der entgegengesetzten Elektricitäten auf den einander zugewendeten Stellen von *A* und *B* nicht sehr bedeutend werden, weil bei genügender Annäherung von *B* ein Funken überspringt. Will man dies verhindern, so braucht man zwischen *A* und *B* nur eine gut isolirende Glasplatte aufzustellen; man kann dann *B* weit mehr nähern und es findet dann auf beiden Leitern eine vermehrte Anhäufung entgegengesetzter Elektricitäten statt. Noch weit mehr ist dies bei der Leydner Flasche der Fall, bei welcher zwei ausgedehntere metallische Oberflächen nur durch eine isolirende Glasschicht getrennt sind, also sich sehr nahe einander gegenüberstehen.

Fig. 277.

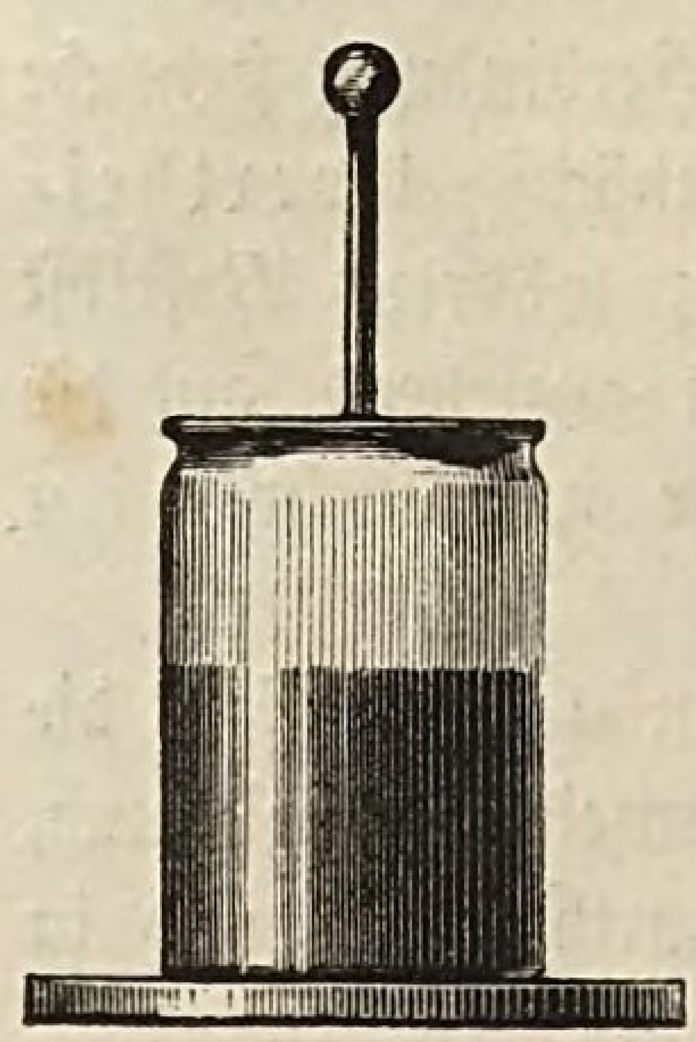


Fig. 278.



Etwas größere Leydner Flaschen stellt man gewöhnlich aus Einmachegläsern von 15 bis 30 Centimeter Höhe und entsprechender Weite an; der Boden des Glases wird innen und außen mit Stanniol überklebt und ebenso die cylindrische Wand ungefähr bis zu ihrer halben Höhe, wie man Fig. 277 sieht. In den Hals des Gefäßes paßt eine Holzscheibe, durch deren Mitte ein Messingstab hindurchgeht, der oben eine Kugel trägt und unten mittelst eines kleinen Kettchens oder auf andere Weise mit der inneren Belegung in leitender Verbindung steht.

Kleinere Leydner Flaschen macht man aus gewöhnlichen (natürlich aus isolirenden Glassorten verfertigten) cylinderförmigen Arzeneigläsern, Fig. 278, von 8 bis 12 Centimeter Höhe, welche außen mit einer Stanniolbelegung versehen, innen aber bis zur Höhe dieser Belegung mit Eisen- oder noch besser mit Messingfeilspähnen gefüllt sind. Der Hals ist mit einem Korkstopfen verschlossen, durch welchen ein Metalldraht hindurchgeht, welcher oben mit einer Metallkugel endigt und unten in den Feilspähnen steckt.

Um eine solche Leydner Flasche recht wohlfeil herzustellen, kann man für den durch den Kork gesteckten Stab einen Eisendraht nehmen, an welchem oben eine Bleikugel angegossen ist.

Um zu zeigen, daß man auf den Belegungen einer solchen Flasche größere Mengen von Elektricität anhäufen kann als es ohne die gegenseitige Einwirkung derselben möglich ist, setze man eine kleine Flasche auf einen sehr gut isolirenden Harzkuchen und lade ihre innere Belegung dadurch, daß man den geladenen Deckel des Elektrophors mit dem Knopf der Flasche in Berührung bringt. Wenn dies zum ersten Male geschieht, so wird ein lebhafter Funken von dem Deckel zur Kugel überspringen und eine bestimmte Quantität positiver Elektricität verbreitet sich nun über die innere Belegung und die mit ihr verbundene Kugel. Die $+E$ der inneren Belegung wirkt zwar zerlegend auf die äußere, da diese aber isolirt ist, so kann die abgestoßene $+E$ nicht entweichen und neue angezogene $-E$ kann der äußeren Belegung nicht zuströmen und so ist die Gränze der Ladung der inneren Belegung bald erreicht. Wiederholt man die gleiche Operation rasch nach einander mehrere Male, d. h. bringt man den immer wieder frisch geladenen Deckel des Elektrophors wiederholt mit der Kugel der Flasche in Berührung, so werden die überspringenden Funken immer schwächer, so daß etwa zum vierten oder fünften Male kaum noch ein Ueberspringen eines Fünkchens zu merken ist.

Mit 4 bis 5 Funken also, welche von dem Deckel zur Kugel überspringen, ist die Ladung der inneren Belegung beendigt, sie ist nun sammt ihrer Kugel ebenso stark geladen, wie der Elektrophordeckel selbst.

Die Sache ändert sich aber augenblicklich, sobald man die äußere Belegung ableitend berührt, was am einfachsten mit der Hand geschieht. Nähert man die Hand der äußeren Belegung, so springt zunächst ein Funken über, welcher daher rührt, daß die abgestoßene $+E$ von der äußeren Belegung entweicht und $-E$ ihr zuströmt. Sobald nun die Hand die äußere Belegung berührt, vertheilt sich eine entsprechende Menge $-E$ auf der äußeren Belegung, welche nun ihrerseits auch wieder anziehend auf die $+E$ der inneren Belegung wirkt und den größeren Theil der $+E$ aus der Kugel auf die innere Belegung herabzieht; deshalb kann nun auch von Neuem wieder ein Funken positiver Elektricität vom Elektrophordeckel auf die Kugel überspringen; eine neue Quantität positiver Elektricität strömt der inneren, eine entsprechende Quantität negativer Elektricität strömt der äußeren Belegung zu und man hat nun vielleicht 32 bis 40 Funken des Elektrophordeckels nöthig, um die Gränze der Flaschenladung zu erhalten.

Wenn die äußere Belegung mit dem Boden in leitender Verbindung steht, so kann also die Flasche ungefähr eine 8 Mal so große elektrische Ladung aufnehmen, als in dem Fall, daß die äußere Belegung isolirt ist.

Die obigen Zahlen sind einem Versuch entnommen, der an einem heißen Sommertage mit einer kleinen Leydner Flasche angestellt wurde, die aus einem Opodeldokglas verfertigt, vom Boden bis zur Kugel 8 Centimeter hoch war; diese Zahlenverhältnisse ändern sich aber mit der Größe der Flaschen, mit der Wirksamkeit des Elektrophors, mit der Witterung ꝛc.

Um eine Leydner Flasche mit dem Elektrophor zu laden, nimmt man sie am bequemsten in die linke Hand, während man mit der rechten Hand den immer wieder von Neuem geladenen Deckel des Elektrophors der Kugel der Flasche zuführt.

Um eine etwas größere Leydner Flasche vollständig zu laden, reicht das Elektrophor nicht mehr aus, man muß in diesem Fall zur Elektrisirmaschine seine Zuflucht nehmen. Am bequemsten findet die Ladung einer Leydner Flasche mittelst der Elektrisirmaschine statt, wenn eine Person die äußere Belegung in beide Hände fassend den Knopf an den Conductor der Elektrisirmaschine hält, während eine andere Person die Scheibe dreht; 30 bis 40 Umdrehungen werden in den meisten Fällen genügen, um eine kräftige Ladung zu erzielen.

Je größer die Flaschen sind, desto größere Quantitäten entgegengesetzter Elektricität kann man auf ihren Belegungen anhäufen.

Um die bindenden Oberflächen möglichst zu vergrößern, verbindet man mehrere einzelne Flaschen zu einer elektrischen Batterie, Fig. 279. Der Boden

Fig. 279.

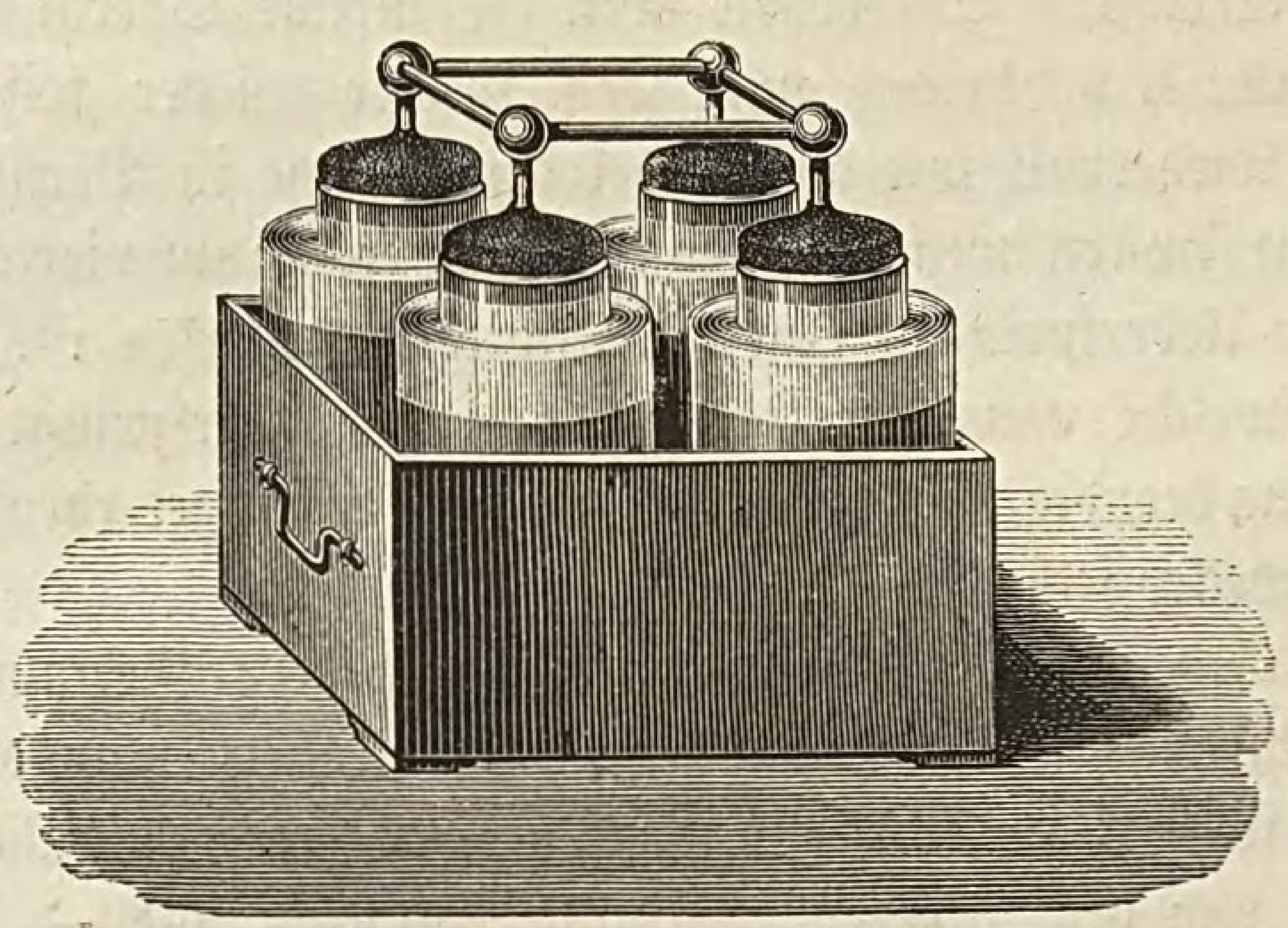
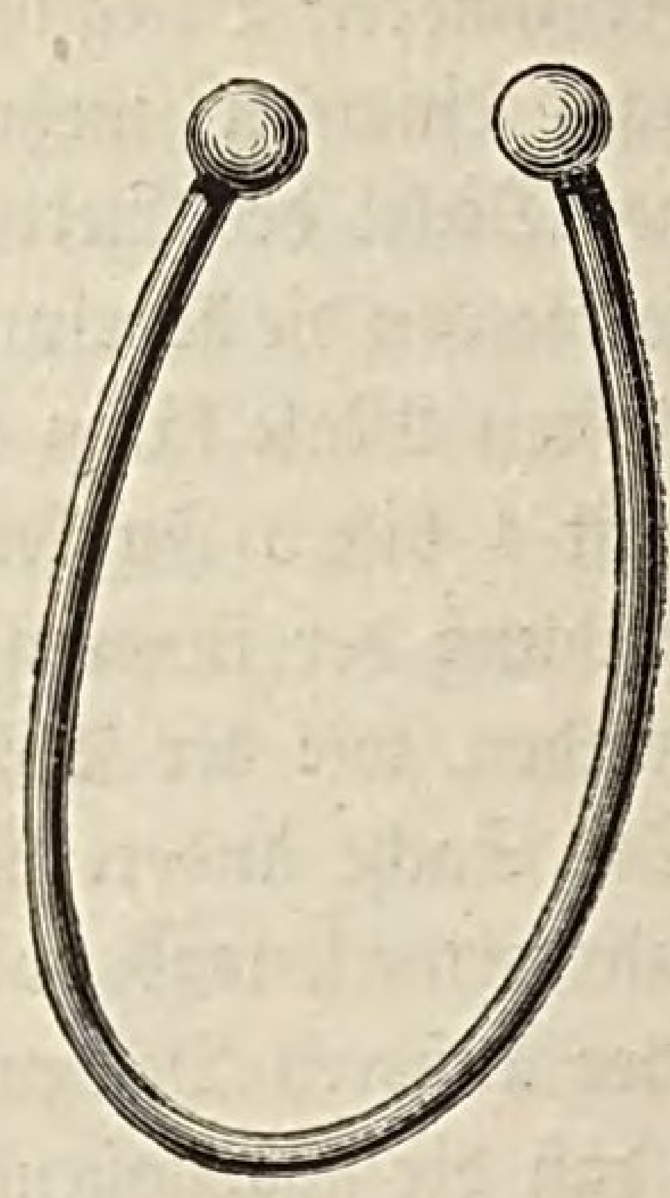


Fig. 280.



des Kastens, in welchem die Flaschen stehen, ist mit Stanniol überzogen und dadurch sind die äußeren Belegungen der vier Flaschen verbunden; die Verbindung der 4 inneren Belegungen wird durch Messingstäbchen vermittelt.

Eine geladene Leydner Flasche oder Batterie wird entladen, wenn man eine leitende Verbindung zwischen der äußeren Belegung und dem Knopfe der inneren herstellt. Die einfachste Vorrichtung, welche man zu diesem Zweck anwenden kann, ist der in Fig. 280 dargestellte Auslader. Ein Kupferdraht von ungefähr 3 Millimeter Durchmesser und 60 Centimeter Länge steckt in einem möglichst anschließenden etwas dickwandigen Rohre von vulcanisirtem Kautschuk, welches als isolirende Schicht dient. An jedem Ende dieses Drahtes ist eine kleine Messingkugel angeschraubt. Die Kautschukhülle nahe am einen Ende mit der linken Hand

fassend bringt man die benachbarte Kugel mit der äußeren Belegung in Berührung und während man sie in dieser Stellung festhält, führt man die andere Kugel mit der rechten Hand rasch der Kugel der Flasche zu. Bei genügender Annäherung schlägt dann zwischen der Kugel der Flasche und der genäherten Kugel des Ausladers unter mehr oder weniger lautem Knall ein kräftiger elektrischer Funken über.

Läßt man den Entladungsschlag der Leydner Flasche statt durch den Auslader, Fig. 280, durch den menschlichen Körper gehen, so fühlt man eine eigenthümliche Nervenerschütterung. Um den Versuch zu machen, nimmt man die geladene Flasche in die linke Hand und faßt mit der rechten deren Kugel an. Bei schwächeren Ladungen ist der Schlag nur in den Vorderarmen, bei stärkeren ist er auch in den Oberarmen fühlbar; stark geladene größere Flaschen oder Batterien können selbst heftige Schmerzen in der Brust hervorbringen und überhaupt gefährlich werden. Für kleinere Thiere sind solche Entladungsschläge tödtlich.

Wenn mehrere Personen eine Kette bilden, indem sie sich die Hände geben und die erste die äußere Belegung der Flasche anfaßt, während die letzte den Knopf berührt, so fühlen Alle den Schlag auf einmal.

Um die Wirkung des Entladungsschlages auf die Nerven zu erläutern, genügen kleinere Flaschen, welche durch 15 bis 20 Funken des Elektrophordeckels geladen sind. Wird die Ladung der Flasche mit der Elektrisirmaschine ausgeführt, so genügen 6 bis 8 Umdrehungen der Scheibe.

Leydner Flaschen entladen sich manchmal von selbst, sobald ihre Ladung eine gewisse Gränze erreicht hat, indem ein Funken von der äußeren Belegung über das Glas zu dem Metallstab überspringt, welcher die Kugel trägt.

Metalldrähte werden, wenn der Entladungsschlag der Flasche durch sie hindurchgeleitet wird, erwärmt, ja genügende Ladungen einer Batterie sind im Stande, sehr dünne Drähte von Eisen oder Platin glühend zu machen und in einzelne glühende Kügelchen aufgelöst auseinander zu sprengen, ein Versuch, der sich natürlich dem elementaren Unterricht entzieht.

Der Entladungsschlag der Flasche ist bei genügend starker Ladung im Stande, Kartenblätter, Pappendeckel, selbst Glasplatten zu durchbohren.

Elektrische Spitzenwirkung. Wenn einer isolirten Metallkugel eine elektrische Ladung mitgetheilt wird, so vertheilt sich dieselbe gleichförmig über ihre ganze Oberfläche; anders verhält sich dieselbe, wenn an dem isolirten Leiter irgend welche Hervorragungen angebracht sind; auf diesen nämlich wird sich die Elektricität in Folge der gegenseitigen Abstoßung gleichnamig elektrischer Theilchen um so mehr anhäufen, je mehr sie vorragen und je dünner sie sind. Ist gar an einem isolirten Leiter eine metallische Spitze angebracht, so häuft sich auf ihr die elektrische Ladung so stark an, daß eine Ausströmung der Elektricität stattfindet. **119**

Mit dem Elektrophor läßt sich die elektrische Spitzenwirkung nicht gut zeigen, desto besser aber mit der Elektrisirmaschine. In dem Conductor a, Fig. 274, Seite 228, ist oben eine Oeffnung von ungefähr 2 Centimeter Durchmesser angebracht. In diese Oeffnung stecke man einen mit Silberpapier überzogenen

Korkstopfen, welcher einen in einer feinen Spitze *s* endigenden Metalldraht trägt, wie Fig. 281 zeigt, in welcher der Conductor *a* in größerem Maaßstab dargestellt

Fig. 281.

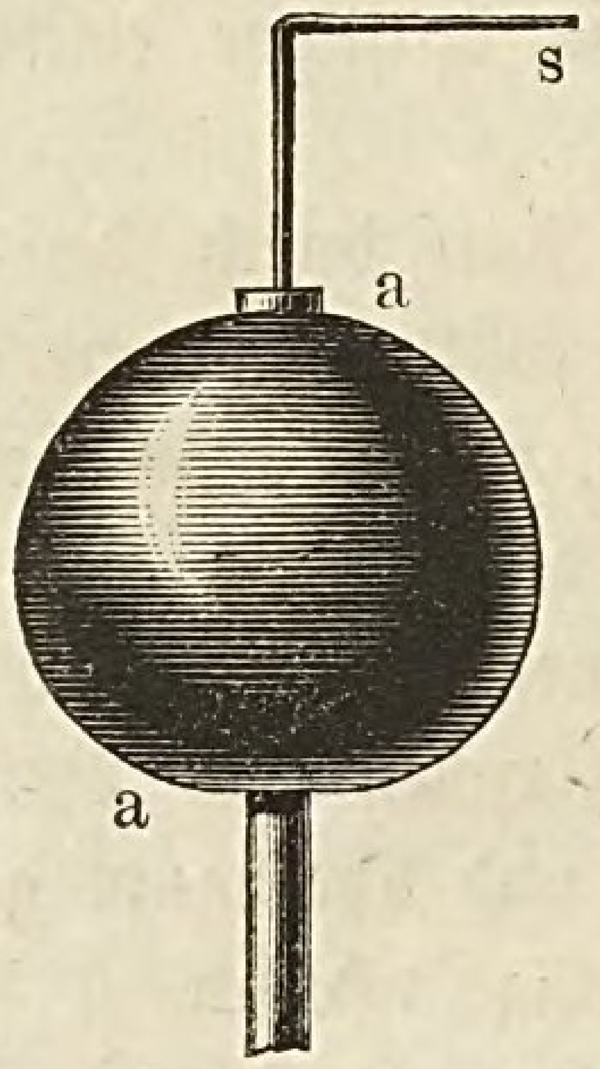
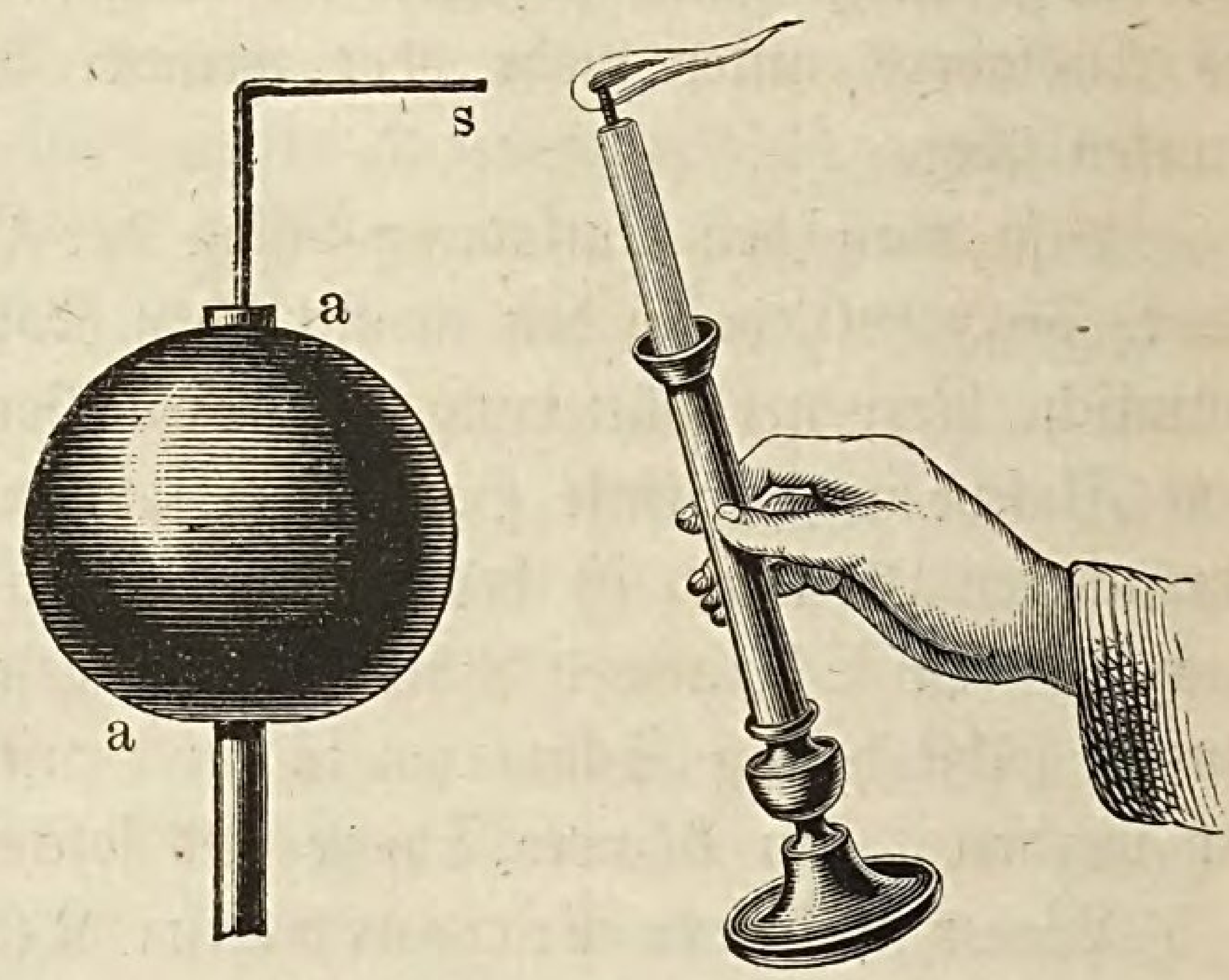


Fig. 282.



ist als in Fig. 274. Daß der Draht oben horizontal umgebogen ist, ist für die Wirkung seiner Spitze nicht von Einfluß, es ist aber wegen eines sogleich zu besprechenden Versuchs nöthig.

Wird nun die Scheibe gedreht, während die Metallspitze in der bezeichneten Weise aufgesetzt ist, so gelingt es nicht, auf dem Conductor *a* eine merkliche Ladung zu erzeugen. Dem Conductor *a* lassen sich nur unbedeutende Fünkchen oder auch gar keine Funken entziehen, welche sogleich wieder erscheinen, sobald die Spitze entfernt wird.

Diese Wirkung der Spitze läßt sich leicht erklären. Die positive Elektricität des Conductors *a* treibt alle gleichnamige Elektricität so weit weg als möglich, also bis zur Spitze *s*, wo sie so concentrirt ist, daß sie auf die benachbarten Lufttheilchen übergeht. Die positiv elektrischen Lufttheilchen werden von der positiv elektrischen Spitze abgestoßen und so muß ein Luftstrom entstehen, welchen die Hand sehr wohl spürt, wenn man sie bis auf einige Zoll der Spitze nähert. Dieser **elektrische Wind** entführt aber auch dem Conductor *a* seine elektrische Ladung.

Man kann den eben erwähnten elektrischen Wind auch sichtbar machen, wenn man die Spitze *s* einer Kerzenflamme nähert, wie Fig. 282 zeigt.

Die Spitze wirkt nicht allein, wenn sie auf dem Conductor angebracht ist, sondern auch, wenn sie mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht dem Conductor der Maschine entgegengehalten wird.

Man nähere z. B. dem Conductor *a* die von ihm abgenommene in der Hand gehaltene Spitze *s* bis auf ungefähr 1 Decimeter, so wird es gleichfalls unmöglich sein, demselben eine merkliche Ladung zu ertheilen, man mag die Scheibe noch so lebhaft drehen.

Hier wirkt der positiv elektrische Conductor vertheilend auf den Draht, die abgestoßene $+E$ entweicht in den Boden, die angezogene $-E$ entströmt der Spitze, um die positive Ladung des Conductors zu schwächen.

Das elektrische Verhalten metallischer Spitzen erklärt nun auch die Wirkung der Blitzableiter und deshalb mußte hier von denselben die Rede sein.

Wenn eine elektrische Wolke in der Luft schwebt, so wirkt sie vertheilend auf den unter ihr befindlichen Boden; die gleichnamige abgestoßene Elektricität strömt nach allen Seiten hin im Boden ab, die von der Wolke angezogene Elektricität häuft sich unterhalb derselben vorzugsweise in allen über der Ebene hervorragenden Gegenständen an, so daß endlich ein Blitz überschlägt, wenn die Anhäufung der Elektricität in den beiden einander gegenüberstehenden und entgegengesetzt geladenen Leitern eine gewisse Gränze erreicht hat. Eine solche Anhäufung von Elektricität in Gebäuden, über welche eine stark elektrische Wolke hinwegzieht, soll nun durch den Blitzableiter verhindert werden. Es ist dies eine Eisenstange, welche auf dem höchsten Punkte des zu schützenden Gebäudes aufgestellt, oben in einer Spitze endigt, nach unten aber mit einer metallischen Leitung versehen ist, welche von der sogenannten Saugstange bis in den feuchten Boden hinabgeht. Unter der vertheilenden Wirkung der Wolke findet ein fortwährendes Ausströmen der von ihr angezogenen Elektricität statt, so daß keine zum Ueberschlagen des Blitzes genügende Anhäufung von Elektricität stattfinden kann.

Die Wirkung des Blitzableiters besteht also wesentlich darin, das Ueberschlagen des Blitzes auf das Gebäude zu verhindern. Sollte aber dessen ungeachtet ein Blitz einschlagen, so folgt er der Leitung in den Boden, ohne das Haus zu verletzen.

Daraus geht aber auch hervor, daß die Leitung von der Saugspitze bis in den feuchten Boden vollkommen ununterbrochen und stark genug sein muß, um selbst durch eine sehr bedeutende elektrische Entladung weder geschmolzen noch zertrümmert zu werden.

Damit die Spitze des Blitzableiters nicht verrostet, ist sie vergoldet.

Sehr gefährlich ist es jederzeit, wenn die leitende Verbindung von der Saugstange bis zum Boden irgendwo unterbrochen ist, denn an diesen Unterbrechungsstellen können die heftigsten und dem Gebäude verderblichsten Entladungen selbst in dem Falle auftreten, daß ein Blitzschlag gar nicht von der Wolke zum Gebäude herabschlägt.

Alle bedeutenderen Metallmassen des Gebäudes, namentlich aber verticale Röhrenleitungen, sind mit dem Blitzableiter in leitende Verbindung zu setzen. Dies gilt namentlich auch von den blechernen Wasserrinnen.

Elektrische Ströme. Bei der Entladung einer Leydner Flasche strömt 120
die positive Elektricität der inneren Belegung zur äußeren und die negative umgekehrt von der äußeren zur inneren über, bis eine vollständige Ausgleichung erfolgt ist. Wir haben es hier also mit elektrischen Strömen zu thun, welche aber nur von äußerst kurzer Zeitdauer sind. Selbst der Entladungsschlag mächtiger Batterien, deren Ladung erst durch längeres Drehen einer sehr guten Elektrisirmaschine erzielt werden kann, macht ganz dünne Metalldrähte nur auf die Dauer von Bruchtheilen einer Secunde glühend, während alsbald von elektrischen Strömen die Rede sein wird, welche bei Weitem dickere Metalldrähte andauernd glühend machen.

Solch stärkere und andauernde elektrische Ströme werden galvanische

Ströme genannt, weil Galvani die ersten Beobachtungen machte, welche zur Entdeckung dieser Ströme führten.

Die galvanische Elektricität ist ganz dieselbe, wie die Reibungselektricität; nur hat man bei letzterer mit geringen Mengen hoch gespannter Elektricität zu thun, während in den galvanischen Strömen große Quantitäten von Elektricität circuliren, die aber eine äußerst geringe Spannung haben. Dieser Unterschied wird jedenfalls klarer hervortreten, wenn es dereinst gelingen wird, das wahre Wesen der Elektricität zu erkennen und die Vorstellung von elektrischen Flüssigkeiten zu entbehren, welche offenbar nur ein Nothbehelf ist.

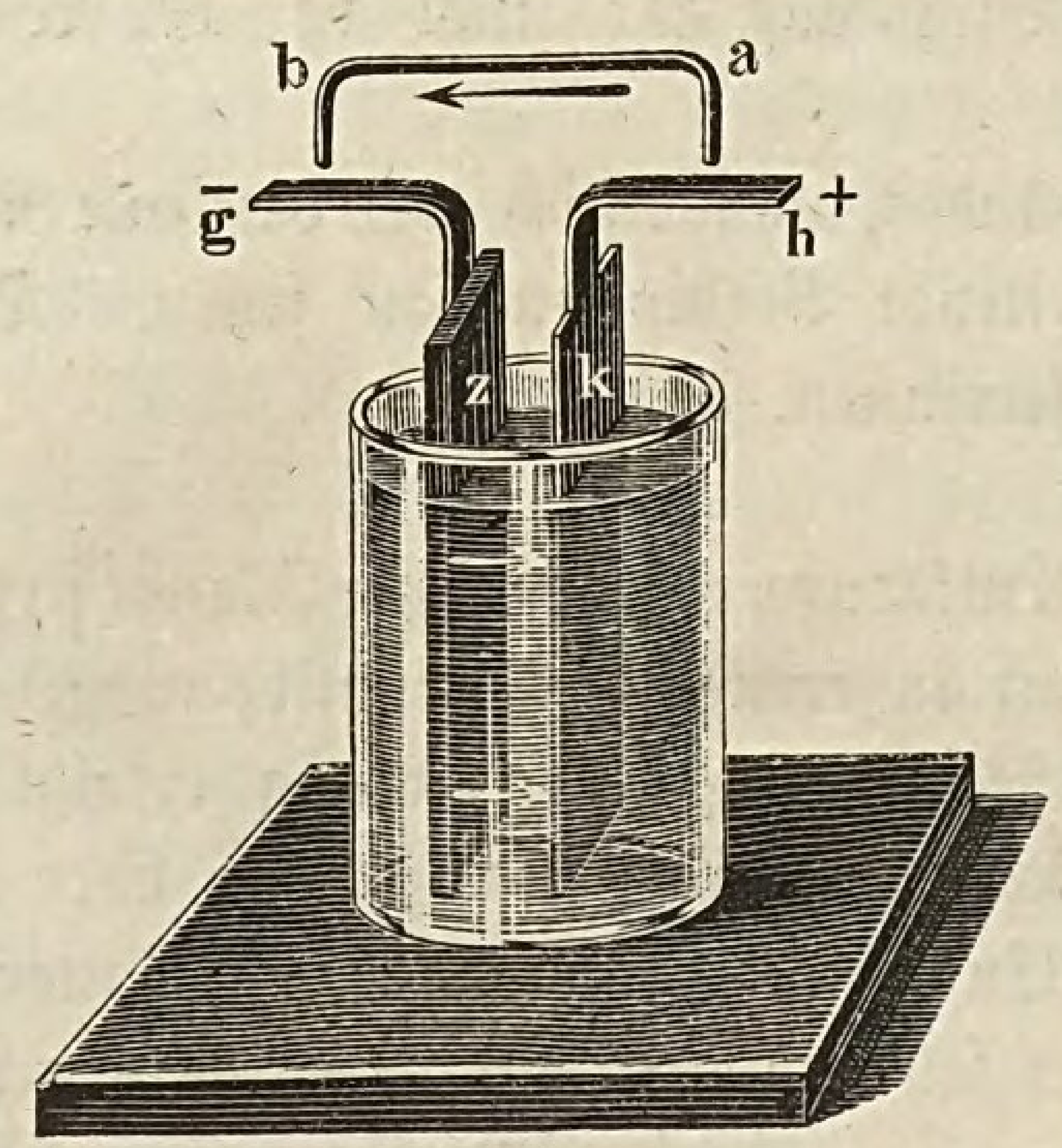
121 **Die Volta'sche Säule.** Wenn man in eine Kochsalzlösung oder in stark verdünnte Schwefelsäure eine Zinkplatte *z*, Fig. 283 eintaucht, so nimmt die aus der Flüssigkeit hervorragende Partie derselben eine schwach negativ elektrische Ladung an, welche sich auch über den an der Zinkplatte angelötheten Streifen *g* von Kupferblech verbreitet; die Flüssigkeit dagegen (aus welcher wir uns vor der Hand noch die Kupferplatte *k* entfernt denken wollen) nimmt eine schwach positiv elektrische Ladung an.

Die Spannungswirkungen der hier auftretenden elektrischen Ladungen sind so schwach, daß man zu ihrer Nachweisung der feinsten, hier nicht zu besprechenden Hülfsmittel nöthig hat.

Taucht man anstatt der Zinkplatte *z* eine Platte irgend eines anderen Metalls in die Flüssigkeit, so wird dieselbe um so weniger stark negativ elektrisch erregt, je weniger leicht sie durch dieselbe angegriffen wird. Eine in die saure Flüssigkeit getauchte Kupferplatte wird so schwach elektrisch, daß wir ihre negative Ladung gegen die des Zinks unberücksichtigt lassen können. Gold und Platin werden durch Berührung mit der sauren Flüssigkeit sogar positiv erregt.

Wird eine Kupferplatte der Zinkplatte gegenüber in die Flüssigkeit getaucht, ohne daß die beiden Metallplatten sich berühren, wie Fig. 283 zeigt, so verbreitet sich die positive Ladung der Flüssigkeit nicht allein über die hervorragende Partie der Kupferplatte, sondern auch über den mit ihr zusammenhängenden Kupferstreifen *h*.

Fig. 283.



Ein solcher mit verdünnter Schwefelsäure gefüllter Becher, in welche zwei Platten verschiedener Metalle (gewöhnlich Kupfer und Zink) eintauchen, die sich aber nicht berühren dürfen, sondern durch eine Flüssigkeitsschicht getrennt sind, wird ein galvanisches Element genannt. *g* und *h* sind die beiden Pole des Elementes.

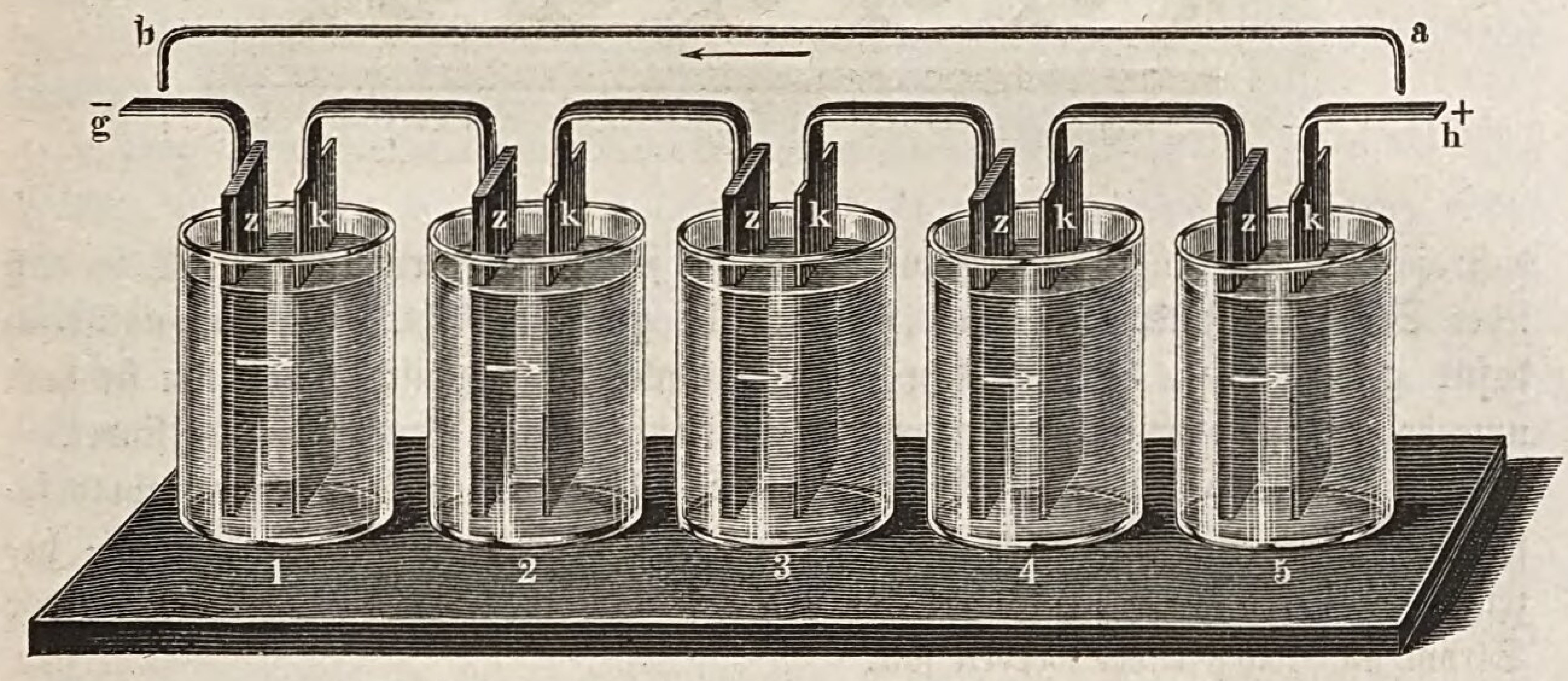
Werden nun die beiden Pole des Elements durch einen Leiter verbunden, wie dies in Fig. 283 durch den Metalldraht *a b* angedeutet sein soll, so geht ein positiver Strom durch den Draht von *h* nach *g*, ein negativer Strom aber in der

entgegengesetzten Richtung. Dieser Strom ist aber nicht vorübergehend, wie der der Leydner Flasche, er ist **andauernd**, indem die von den Polen abströmende Elektricität augenblicklich durch die Einwirkung der Flüssigkeit auf das Zink wieder ersetzt wird. Die an den Berührungsstellen zwischen Zink und der Flüssigkeit erzeugte $-E$ wandert nach g, die gleichzeitig entwickelte $+E$ wandert in der Richtung der kleinen Pfeile von der Zinkplatte durch die Flüssigkeit über k nach h.

Welche Wirkungen ein solcher andauernder Strom in verschiedenen Leitern hervorzubringen im Stande ist, werden wir später sehen.

Wenn man mehrere galvanische Elemente zusammenstellt, wie dies Fig. 284 für fünf derselben erläutert, wenn alsdann das Kupfer des Bechers 1 mit der Zinkplatte

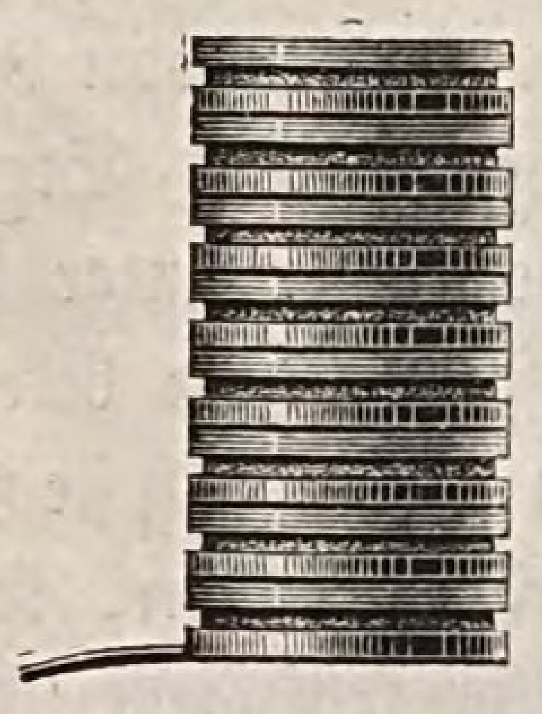
Fig. 284.



von 2, das Kupfer von 2 mit dem Zink von 3 2c. leitend verbunden wird, während das Zink von 1 und das Kupfer von 5 vereinzelt bleibt, so hat man nun eine **Säule** von 5 Plattenpaaren, deren Pole g und h eine fünfmal so große elektrische Spannung zeigen, als die Pole eines einzelnen Plattenpaares, wie dies **Volta** gezeigt hat, welcher bewies, daß überhaupt die elektrische Spannung an den Polen in gleichem Verhältniß wächst, wie die Anzahl der Plattenpaare, die man in der angegebenen Weise hinter einander verbindet.

Die Elemente, mit welchen **Volta** seine Säule aufbaute, waren freilich von anderer Gestalt. Runde Platten von Zink und Kupfer wurden abwechselnd mit Tuchscheiben geschichtet, die mit gesäuertem Wasser getränkt waren, wie dies Fig. 285 erläutert. Dieser Apparat hatte dann freilich mehr die Form einer Säule, deren Namen dann auch den ungleich zweckmäßigeren Apparaten, Fig. 284, geblieben ist.

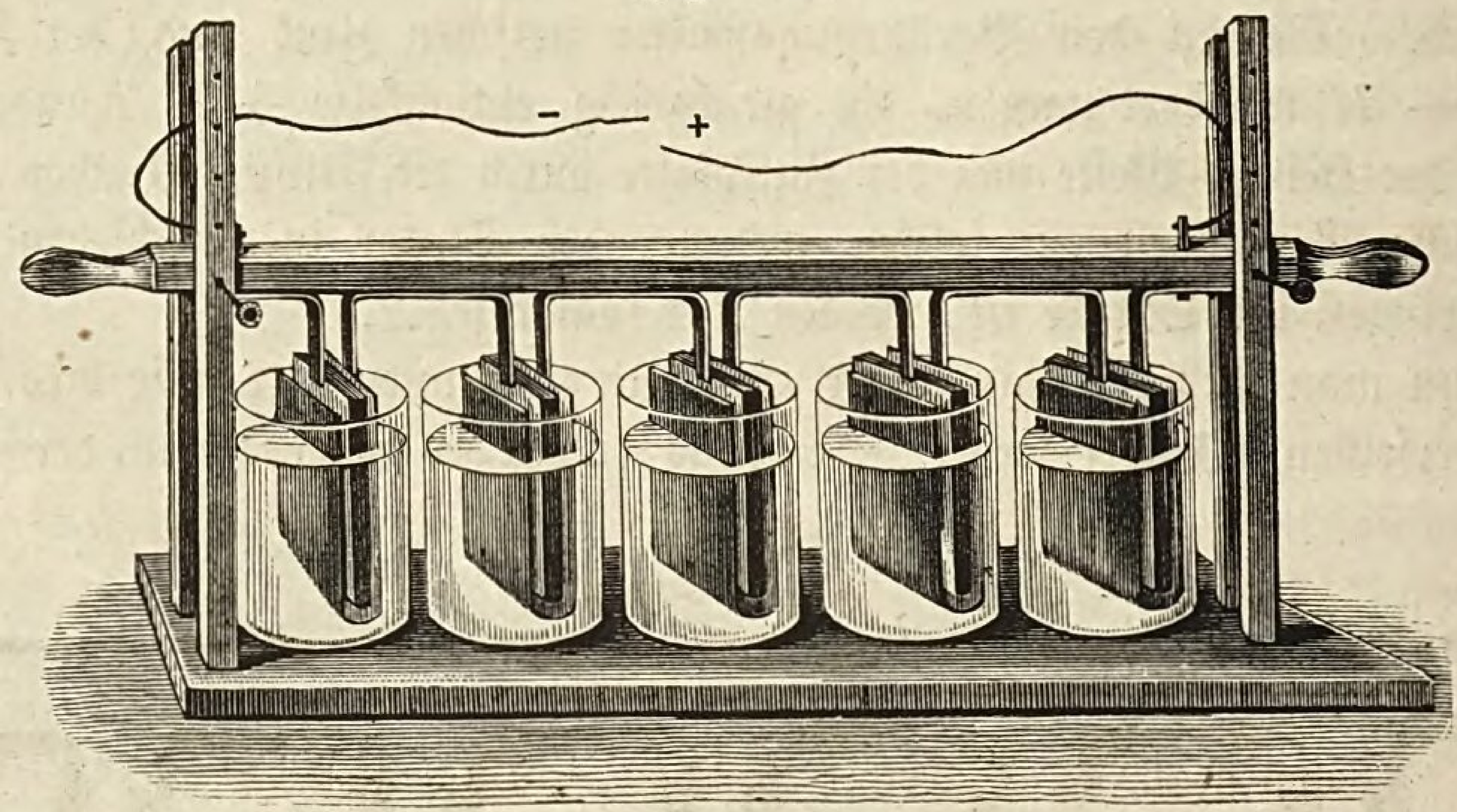
Fig. 285.



Um die Vorrichtung, Fig. 284, bequem gebrauchen können, sind die Verbindungsstücke zwischen der Kupferplatte des einen und der Zinkplatte des folgenden Bechers, so wie die Polplatten g und h an einem gemeinschaftlichen Holzstab befestigt, wie Fig. 286 (a. f. S.) erläutert. Der

Apparat Fig. 286 unterscheidet sich aber noch von dem in Fig. 284 dargestellten dadurch, daß Kupfer- und Zinkplatte eines Bechers einander viel näher stehen und

Fig. 286.

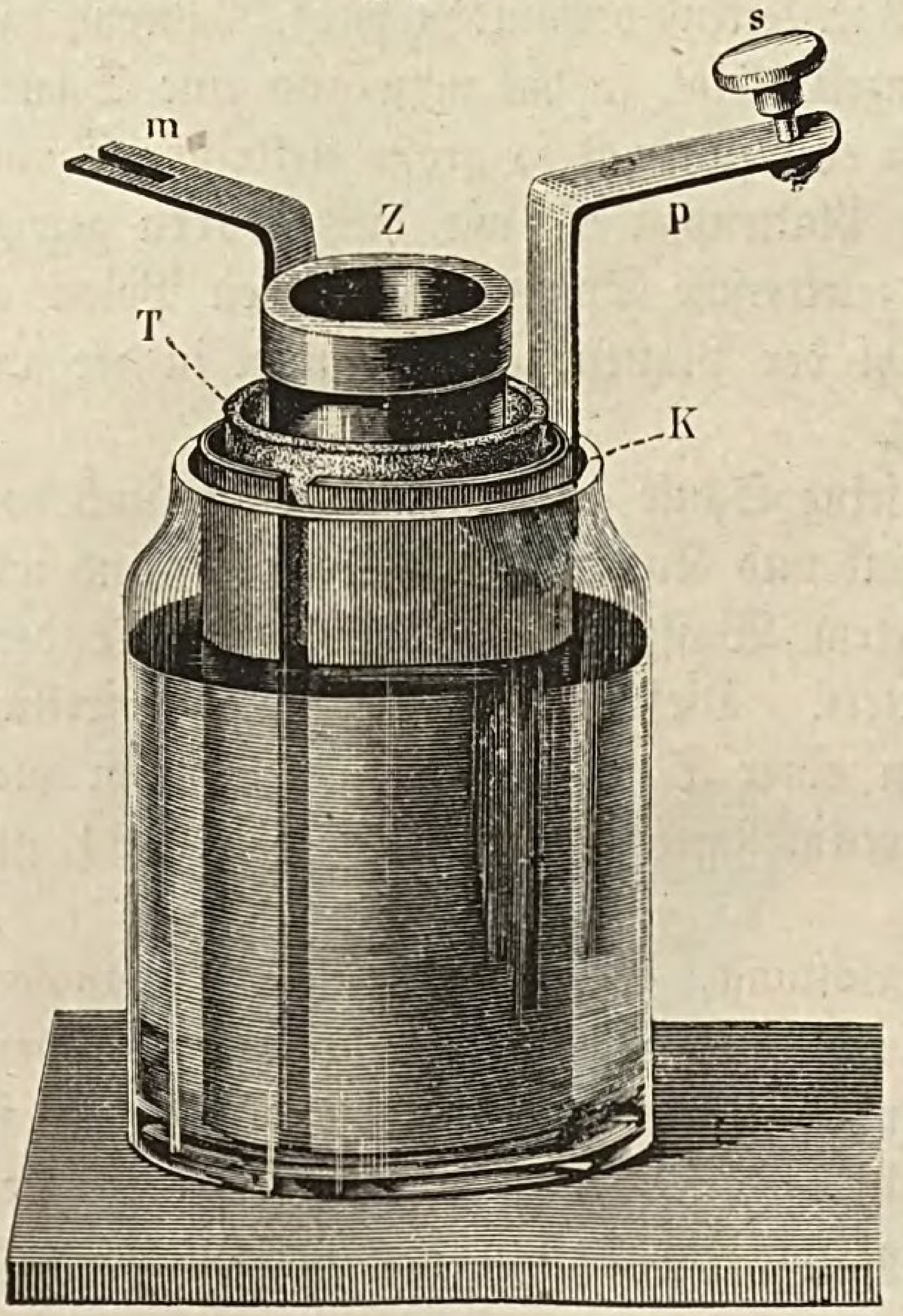


daß die ungleich längere Kupferplatte um die Zinkplatte herumgebogen ist, so daß jeder Seite der Zinkplatten eine Kupferfläche gegenübersteht. Es muß natürlich dafür gesorgt sein, daß zwischen einer Zinkplatte und zwischen der um sie herumgebogenen Kupferplatte desselben Bechers keine leitende Berührung stattfindet.

An jedem der Pole ist ein ungefähr 2 Millimeter dicker Kupferdraht befestigt, und diese beiden Drähte, deren Enden in unserer Figur mit — und + bezeichnet sind, dienen dazu, zwischen ihnen die Leiter einzuschalten, durch welche der Strom hindurchgesendet werden soll.

Dadurch, daß alle fünf Plattenpaare an einem gemeinschaftlichen Holzstab befestigt sind, ist es möglich, alle gleichzeitig in ihre Becher einzutauchen und wenn der Versuch sistirt werden soll, alle gleichzeitig wieder aus der Flüssigkeit herauszuheben.

Fig. 287.



Apparate der eben beschriebenen Art, deren Zinkplatten ungefähr 8 Cm. breit und 10 Cm. hoch sind, geben alsbald nach dem Eintauchen in die Flüssigkeit (1 Theil Vitriolöl auf 20 bis 30 Theile Wasser) ziemlich kräftige Ströme, welche zum Nachweis der wichtigsten Stromeswirkungen ganz wohl ausreichen, namentlich, wenn man Säulen von 8 bis 10 Bechern anwendet. Die Stromstärke nimmt aber bei dieser unter dem Namen der Wollaston'schen bekannten Säule sehr rasch ab, so daß sie nicht wohl gebraucht werden können, wenn es sich um andauernde kräftigere Wir-

kungen handelt, welche man nur durch sogenannte constante Becher erreichen kann.

Solche constante Becher erhält man, wenn das Zink in verdünnter Schwefelsäure, das Kupfer aber in einer concentrirten Lösung von Kupfervitriol eingetaucht ist und beide Flüssigkeiten durch eine poröse Scheidewand getrennt sind. Dies läßt sich mit ebenen Platten nicht gut ausführen, man hat sie deshalb in cylindrischer Form hergestellt, wie Fig. 287 zeigt. In dem mit der Lösung von Kupfervitriol gefüllten Glase steht die cylindrisch gebogene Kupferplatte K; innerhalb dieser ein poröses Thongefäß T, welches mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt und in welche der Zinkcylinder Z eingetaucht ist; m ist der eine, p ist der andere Pol des Elements. Mehrere Elemente können ganz in der oben besprochenen Weise zur Säule verbunden werden.

Diese constanten Zinkkupferbecher werden nach ihrem Erfinder Daniell'sche Elemente genannt.

Ungleich kräftiger als die Daniell'schen wirken aber noch die Bunsen'schen Becher, bei welchen der Kupfercylinder durch einen hohlen Kohlencylinder ersetzt ist, welcher in concentrirter Salpetersäure steht. Die poröse Thonzelle ist auch bei den Bunsen'schen Bechern mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, in welcher der Zinkcylinder steht. Die Kohlencylinder werden aus einer eigenthümlich bereiteten Kohlenmasse hergestellt, welche hier nicht näher besprochen werden kann.

Wärme- und Lichtentwickelung durch den galvanischen Strom. Wenn man die beiden Enden eines $1/4$ bis $1/3$ Millimeter dicken Eisendrahtes so um die Drahtenden + und —, Fig. 286, wickelt, daß zwischen beiden Polen ein ungefähr 5 Millimeter langes Stück Eisendraht noch frei bleibt, so wird der Draht glühend, sobald die Plattenpaare in die Flüssigkeit eingetaucht werden. Bei genügender Stärke des Stromes wird der Draht weißglühend und schmilzt ab. 122

Je dicker der Draht ist, welcher glühend gemacht werden soll, desto größer müssen die Plattenpaare sein; je länger dieser Draht ist, desto mehr Plattenpaare müssen zur Säule verbunden werden, um ihn glühend zu machen.

Eine glänzende Lichterscheinung, welche unter dem Namen des elektrischen Lichtes bekannt ist, erhält man, wenn man an den Poldrähten einer Säule von mindestens 45 Bunsen'schen Bechern zugespitzte Kohlenstäbchen von derselben Masse befestigt, aus welcher die Kohlencylinder der Bunsen'schen Säule verfertigt sind. Bringt man die mit dem positiven und die mit dem negativen Poldraht verbundenen Kohlenspitzen in Berührung, um sie nach der Berührung wieder ein klein wenig von einander zu entfernen, so erscheint zwischen ihnen ein blendend helles Licht, welches schon bei 45 Bechern einer Lichtstärke von 400 Stearinkerzen gleichkommt. Man hat dieses Licht zur Beleuchtung öffentlicher Plätze bei feierlichen Gelegenheiten oder zur Beleuchtung von Bauplätzen verwendet, auf welchen auch bei Nacht gearbeitet werden muß.

Chemische Wirkungen des Stromes. Wenn man an jedem 123
der Poldrähte der Säule Fig. 286 eine Platinplatte von ungefähr 15 Millimeter

Breite und 30 Millimeter Länge befestigt, und dann diese Polplatten so in ein Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure taucht, daß sie 1 bis 2 Centimeter von einander entfernt sind, so sieht man an beiden Platten Gasbläschen aufsteigen. Bei einer Säule von 5 Wollaston'schen Bechern ist diese Gasentwickelung freilich noch schwach, sie wird bedeutend stärker bei Anwendung einer Säule von 8 bis 10 solcher Becher.

Bei genauerer Untersuchung findet man nun, daß an der negativen Polplatte Wasserstoffgas, an der positiven dagegen Sauerstoffgas aufsteigt. Der galvanische Strom, welcher durch die Flüssigkeit hindurchgeht, hat also das Wasser in seine Bestandtheile zerlegt.

Die gleiche Zerlegung, wie sie zwischen den Polplatten auftritt, muß aber auch in jedem Becher der Säule stattfinden. Das Wasserstoffgas der sauren Flüssigkeit wird an der Kupferplatte, das Sauerstoffgas wird an der Zinkplatte ausgeschieden. Das an der Zinkplatte auftretende Sauerstoffgas wirkt oxydirend auf dieses Metall, es bildet sich hier Zinkoxyd, welches sich mit der Schwefelsäure (Seite 25) der Flüssigkeit zu Zinkvitriol verbindet.

Der galvanische Strom wird durch die saure Flüssigkeit nur mittelst deren Zerlegung geleitet. Ohne Zerlegung kein Strom. Hätte man die Becher statt mit gesäuertem Wasser mit Weingeist oder mit Oel gefüllt, so wäre kein Strom zu Stande gekommen, weil sie nicht in der erwähnten Weise zersetzbar sind und deshalb auch den Strom nicht leiten.

Taucht man die aus Platin bestehenden Polplatten der Säule Fig. 286 in eine Auflösung von Kupfervitriol, so wird die Flüssigkeit in der Weise zerlegt, daß sich metallisches Kupfer an der negativen Polplatte ausscheidet, welche sich deshalb in kurzer Zeit ganz mit Kupfer überzieht. Darauf gründet sich die Galvanoplastik.

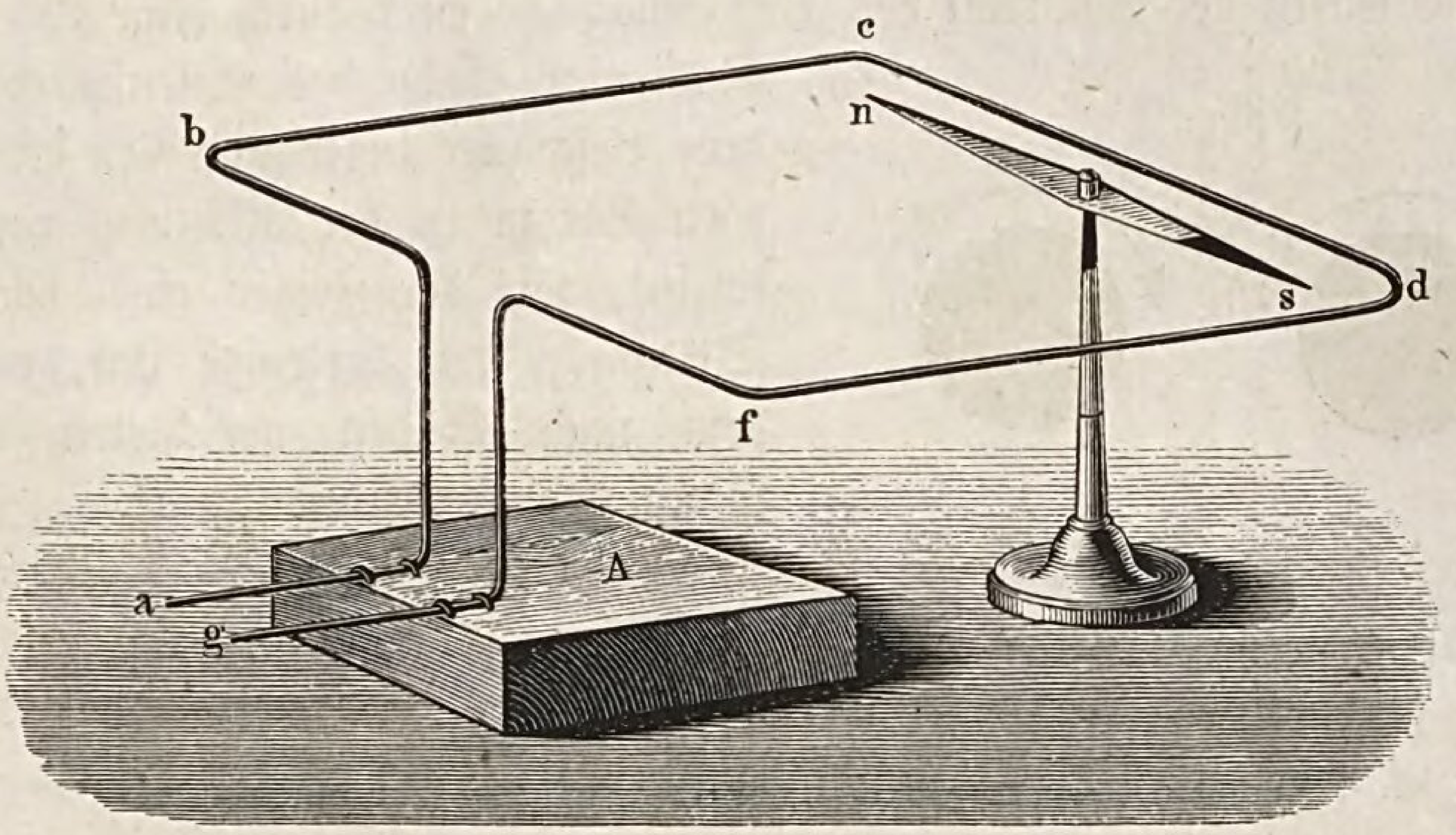
Werden die beiden Polplatten in eine Auflösung von Chlorgold oder Chlorsilber getaucht, so überzieht sich die negative Polplatte mit einer Schicht von Gold oder Silber. Darauf gründet sich die galvanische Vergoldung und Versilberung.

124 **Die magnetischen Wirkungen des Stromes.** Wenn ein elektrischer Strom an einer Magnetnadel vorbei geführt wird, so strebt er, dieselbe aus derjenigen Lage abzulenken, welche sie unter dem alleinigen Einfluß des Erdmagnetismus einnimmt. Um dies zu zeigen, kann man die Vorrichtung Fig. 288 anwenden. Auf einem Brett A ist ein Kupferdraht $abcdfg$ von ungefähr 2 Millimeter Dicke befestigt, welcher so gebogen ist, wie die Figur zeigt. Man stelle dieses Brett so, daß das horizontale Drahtstück cd in die Richtung des magnetischen Meridians fällt, daß es also, so lange noch kein Strom durch den Draht hindurchgeht, gerade über der durch den Erdmagnetismus bedingten Gleichgewichtslage der Magnetnadel ns hinwegläuft.

Bringt man nun das Drahtende a mit dem einen, das Drahtende b mit dem anderen Poldraht einer Säule, Fig. 286, in leitende Verbindung, so daß ein Strom durch den Draht hindurchgeht, so wird die Nadel aus ihrer Gleichgewichtslage abgelenkt und macht einen um so größeren Winkel mit derselben, je stär-

ker der Strom ist. Der Erdmagnetismus strebt, die Nadel in die Lage *ns* zurückzuführen, der Strom strebt sie rechtwinklig zu seiner Richtung zu stellen.

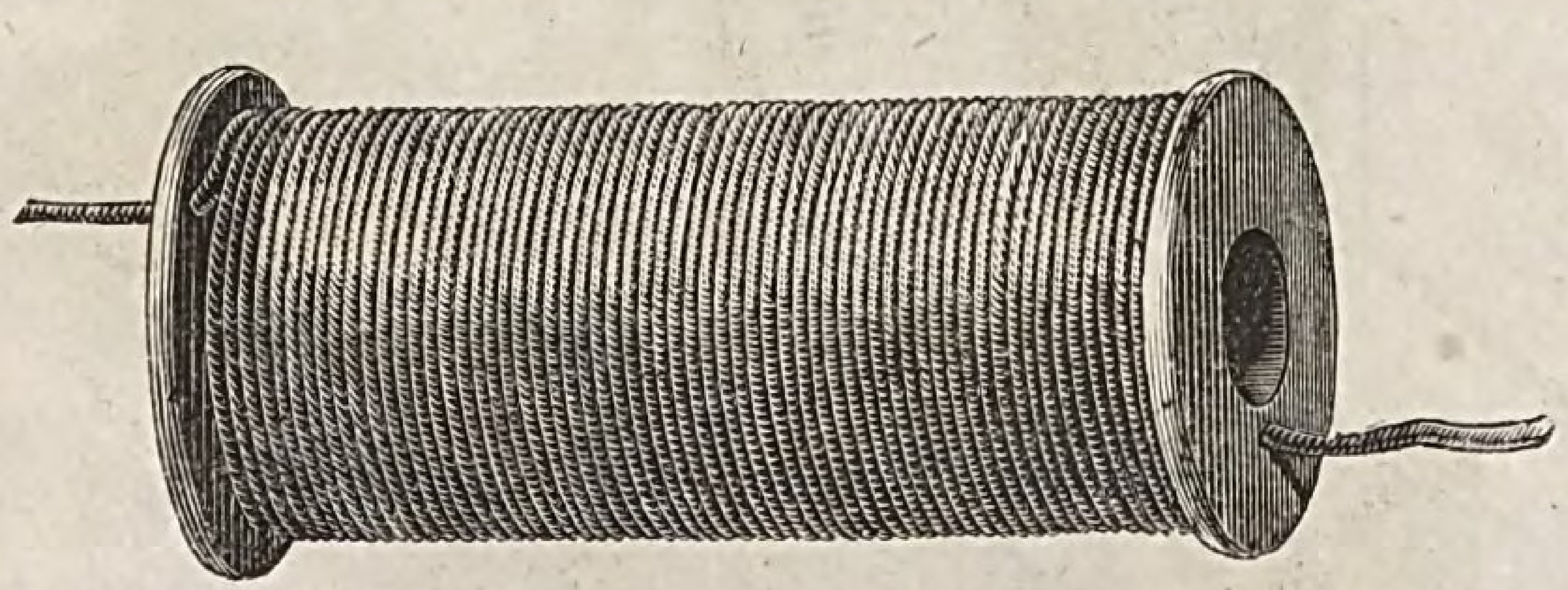
Fig. 288.



Man hat diese ablenkende Kraft des Stromes benutzt, um ganz schwache elektrische Ströme merklich zu machen; man hat nämlich die Magnetnadel mit vielen Windungen eines dünnen, mit Seide übersponnenen Drahtes umgeben, so daß der Strom vielmal um die Nadel herumgeführt wird. Solche, hier nicht näher zu besprechende Apparate werden Multiplicatoren genannt.

Wirkt der Strom ablenkend auf die Magnetnadel, so muß er auch magnetisirend auf das weiche Eisen wirken, wie dies auch der Versuch nachweist. Um jedoch eine kräftige Magnetisirung eines weichen Eisens zu erzielen, muß man den Strom in vielen Windungen um den zu magnetisirenden Stab herumführen. Dies geschieht am einfachsten, wenn man einen ungefähr 2 Millimeter dicken mit Wolle übersponnenen Kupferdraht in vielen Windungen auf eine Spule von Holz oder Pappendeckel aufwickelt und so eine Magnetisirungsspirale bildet, wie eine solche in Fig. 289 dargestellt ist. Steckt man in die Höhlung dieser Magnetisi-

Fig. 289.



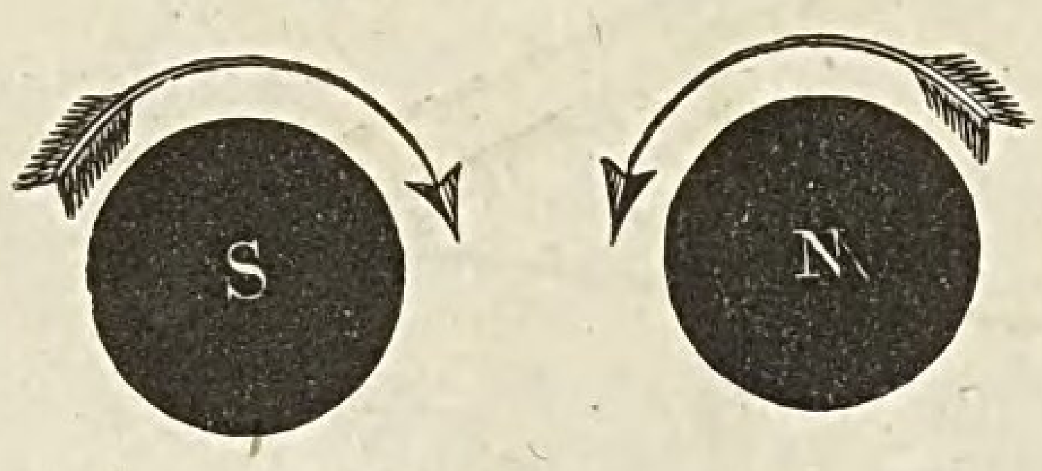
rungsspirale einen Eisenstab, welcher auf beiden Seiten etwas vorragt, so wird er sogleich zu einem kräftigen Magnet, sobald ein galvanischer Strom durch die Win-

dungen des Drahtes hindurch geht, dieser Magnetismus verliert sich aber augenblicklich wieder, sobald der Strom unterbrochen wird.

Solche vorübergehend durch den galvanischen Strom gebildete Magnete nennt man **Elektromagnete**.

Das Gesetz der Polarität der Elektromagnete wird durch Fig. 290 erläutert.

Fig. 290.



Dasjenige Ende des Eisenstabes, welches dem Beschauer zugewandt von dem **positiven** Strom in der Richtung umkreist erscheint, wie der Zeiger einer Uhr, ist der **Südpol**, d. h. derjenige Pol, welcher mit dem nach Süden gerichteten Pol einer Magnetnadel gleichnamig ist.

Um einen **Hufeisen-Elektromagnet** zu bilden, wird jeder Schenkel eines U-förmig gebogenen Eisenstabes mit einer Magnetisirungsspirale umgeben und der galvanische Strom so durch dieselben hindurchgeleitet, daß die beiden Schenkel in entgegengesetzter Richtung umströmt werden.

Fig. 291.

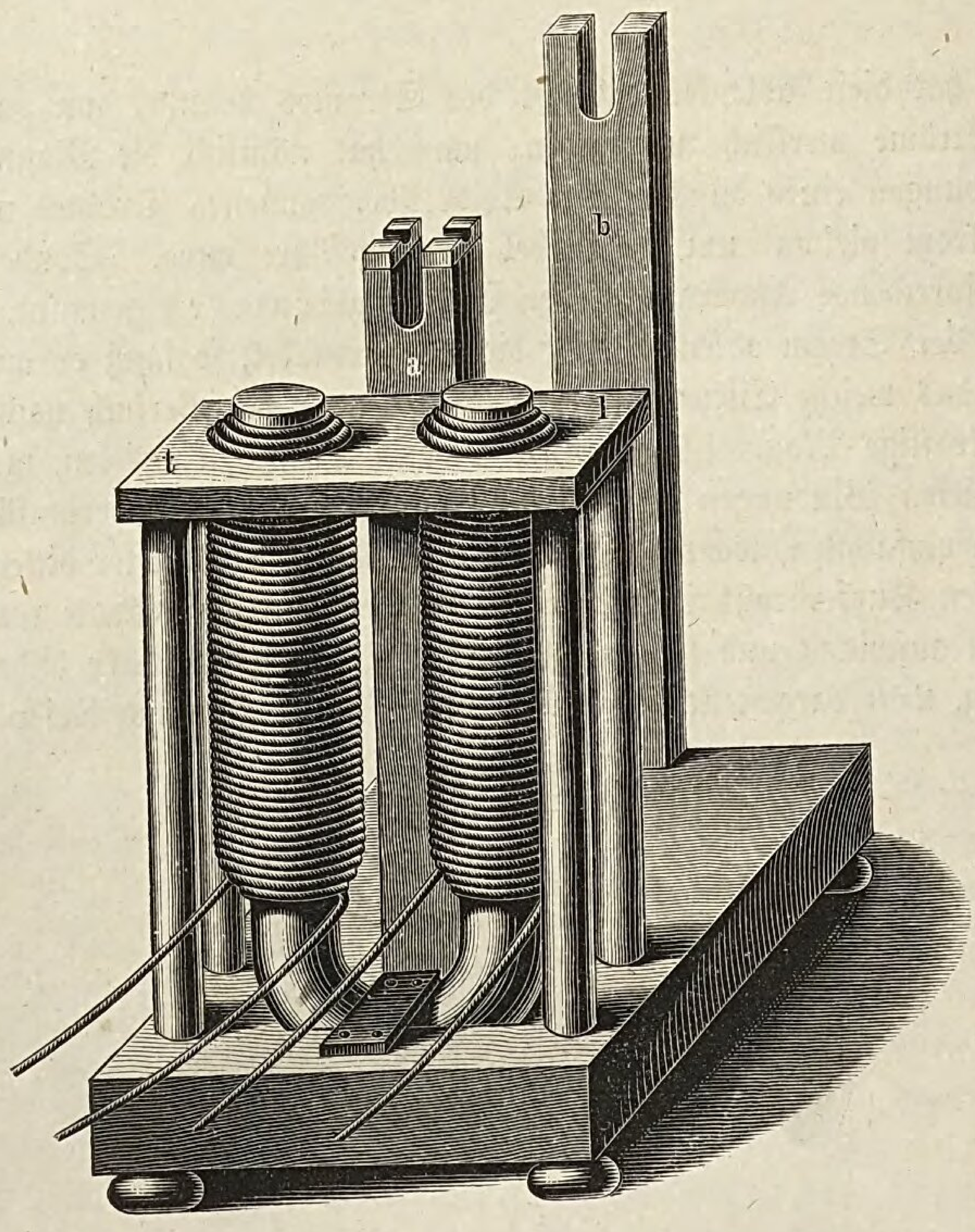
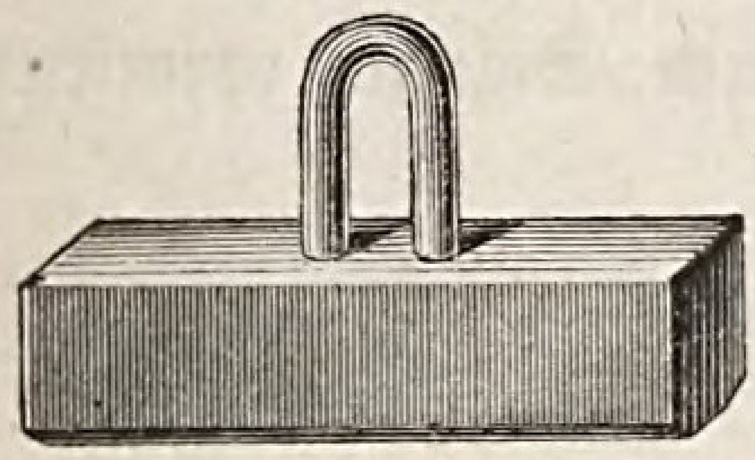


Fig. 291 stellt einen Hufeisen-Elektromagnet dar, dessen beide Pole nach oben gekehrt sind, was für manche Zwecke vortheilhaft ist. Um die Tragkraft sol-

cher Elektromagnete zu prüfen, setzt man auf dessen Pole einen Anker von der Form Fig. 292. In das Ohr desselben wird ein eiserner Hebel eingesetzt, dessen Stützpunkt auf der Säule *a* ruht. Am anderen Ende des Hebels werden entsprechende Gewichte angehängt. Die Säule *b* dient dazu, den Hebel aufzuhalten, wenn der Anker abgerissen wird.

Fig. 292.

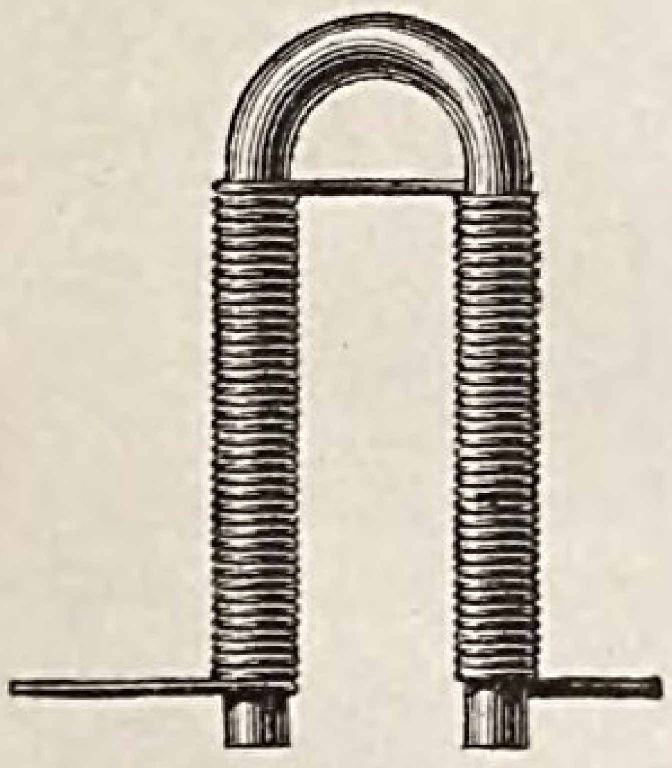


Ein solcher Elektromagnet, dessen Schenkel 30 Cm. lang und 3 Cm. dick sind und an welchem jeder Schenkel von ungefähr 300 Windungen eines 2 Millimeter dicken, mit Wolle übersponnenen Kupferdrahtes umgeben ist, zeigt bei mäßigem Strom bereits eine Tragkraft von 300 Pfd.

Um harte Stahlstäbe gut zu magnetisiren, wendet man die bereits auf Seite 218 erläuterte Streichungsmethode nur mit dem Unterschiede an, daß statt des Poles *N* eines Stahlmagnets der Pol eines Elektromagnets in Anwendung kommt.

Für den elementaren Unterricht sind aber keineswegs so große Elektromagnete nöthig, wie der eben besprochene, es genügen kleinere von der in Fig. 293 dargestellten Art. Ein Eisenstab von 16 bis 20 Centimeter Länge und 1 Centimeter Durchmesser ist gebogen wie die Figur zeigt; seine Polenden sind möglichst eben abgeschliffen und seine Schenkel sind mit einem 2 Millimeter dicken mit Wolle übersponnenem Kupferdraht umwickelt. Als Anker kann eine Eisenplatte von der Form Fig. 258, Seite 215, dienen. Ein solcher Elektromagnet kann bei mäßigen Strömen immerhin 10 bis 30 Pfund tragen.

Fig. 293.



In Fig. 291 und Fig. 293 erscheint der übersponnene Kupferdraht direct auf die Eisenkerne aufgewickelt; er könnte ebenso gut auf Hülsen aufgewickelt, wie Fig. 289, und diese dann auf die Eisenkerne aufgeschoben sein. Kupferdraht wählt man zu galvanischen Stromleitungen, weil Kupfer den Strom viel besser leitet als Eisen und Messing.

Der Elektromagnetismus ist besonders dadurch wichtig geworden, daß er zur Construction der elektrischen Telegraphen benutzt wird. Nachdem man einmal gefunden hatte, daß der elektrische Strom sich selbst in einer viele Meilen langen Leitung in kaum meßbar kurzen Zeiträumen fortpflanzt (ungefähr 4000 geographische Meilen in der Secunde), ergab sich auch alsbald, daß der Elektromagnet das geeignetste Mittel ist, um schnell in die Ferne zu signalisiren. Der wesentlichste Theil eines solchen elektrischen Telegraphen ist ein kleiner Hufeisenmagnet. Jeder Schenkel desselben ist von mehreren Hundert Windungen eines dünneren mit Seide übersponnenen Kupferdrahtes umwickelt. Von jedem der beiden Enden dieser Windungen geht eine Leitung zu der entfernten Station *A*, von welcher aus telegraphirt werden soll und auf welcher eine entsprechende Säule aufgestellt ist. — Wird nun auf der Station *A* die Kette geschlossen, so wird augenblicklich der Elektromagnet der Station *B* erregt, er zieht einen über ihm schwebenden Anker an; sobald aber

der Strom auf der Station *A* wieder unterbrochen wird, verliert der Elektromagnet zu *B* wieder seinen Magnetismus und der Anker wird durch eine Feder wieder zurückgezogen. Dadurch also, daß zu *A* in entsprechenden Zwischenräumen der Strom hergestellt und wieder unterbrochen wird, wird der Anker des Elektromagnets zu *B* abwechselnd hin- und herbewegt und dadurch Signale vermittelt, deren Besprechung uns hier zu weit führen würde.

Uebersicht

der

wichtigsten physikalischen Gesetze.

Erstes Buch.

Die Zusammenhangsformen und die Zusammensetzung der Körper.

1. Alle Körper sind aus sehr kleinen, nicht weiter theilbaren, aber für sich allein sinnlich nicht wahrnehmbaren Urtheilchen (Atomen) zusammengesetzt.

2. Feste Körper sind solche, bei denen die Atome in unveränderlicher gegenseitiger Entfernung und in unveränderlicher gegenseitiger Stellung sich befinden.

3. Flüssige Körper sind solche, bei welchen die Urtheilchen zwar auch in unveränderlicher gegenseitiger Entfernung bleiben, aber leicht gegen einander verschoben werden können, also keine unveränderliche gegenseitige Stellung haben.

4. Bei den gasförmigen (luftförmigen) Körpern ist die gegenseitige Entfernung der Urtheilchen eine ungleich größere als bei den festen und flüssigen Körpern. Durch stärkeren Druck lassen sie sich leicht auf einen kleineren Raum zusammenpressen und bei nachlassendem Druck dehnen sie sich wieder aus. Die kleinsten Theilchen der Gase werden also durch eine abstoßende Kraft, Expansionskraft, aus einander getrieben, welcher nur durch äußeren Druck das Gleichgewicht gehalten werden kann, während die Theilchen der festen und flüssigen Körper durch eine innere Kraft, die Zusammenhangskraft, die Cohäsionskraft, zusammengehalten werden.

5. Die Atome, aus welchen die verschiedenen Körper zusammengesetzt sind, sind ungleicher Natur.

Solche Stoffe, welche nur aus gleichartigen Atomen zusammengesetzt sind, nennt man einfache Stoffe, Elemente. Solche Stoffe, welche verschiedenartige Atome enthalten, nennt man chemisch zusammengesetzte Körper, chemische Verbindungen.

6. Die Elemente zerfallen in zwei Hauptclassen, die Metalle und die nichtmetallischen Stoffe, welche man auch als Metalloide bezeichnet.

7. Die Metalloide sind theils feste (Schwefel, Kohle 2c.), theils für sich stets luftförmige Körper (Sauerstoff, Stickstoff 2c.).

8. Die Metalle zerfallen in drei Hauptclassen, die schweren Metalle, welche vorzugsweise den Namen der Metalle tragen, die Erdmetalle (Aluminium, Calcium u. s. w.) und die Alkalimetalle.

9. Die Verbindungen der Metalle mit Sauerstoff werden Oxyde oder auch Basen genannt. Die Oxyde der Alkalimetalle sind in Wasser löslich, die übrigen sehr wenig oder gar nicht.

10. Die Verbindungen von Sauerstoff mit Metalloiden sind meistens Säuren; die Säuren verbinden sich mit den Basen zu Salzen.

11. Eben so wie sich Sauerstoff mit den verschiedenen Metallen und Metalloiden verbindet, so geht auch Schwefel, Chlor ꝛc. Verbindungen mit den übrigen einfachen Stoffen ein.

12. Die verschiedenen einfachen Stoffe treten nur nach bestimmten Gewichtsverhältnissen zu chemischen Verbindungen zusammen, was durch die Annahme seine Erklärung findet, daß immer eine bestimmte Zahl von Atomen des einen Stoffs mit einer bestimmten Zahl von Atomen der anderen in nähere Verbindung tritt.

Zweites Buch.

Gleichgewicht und Bewegung.

1. Das Beharrungsvermögen, auch Trägheit genannt, ist eine allgemeine Eigenschaft aller Körper, derzufolge sie ihren Bewegungszustand unverändert beibehalten, so lange nicht äußere Kräfte auf sie wirken, welche eine Aenderung der Richtung und der Geschwindigkeit veranlassen.

2. Alle Körper auf der Erdoberfläche werden durch eine Kraft gegen dieselbe hingezogen, welche wir Schwere nennen.

Wie die Erde den Stein, so zieht auch die Erde den Mond an und die Erde wird, wie alle Planeten, in gleicher Weise von der Sonne angezogen. Diese gegenseitige Massenanziehung aller Himmelskörper wird die allgemeine Schwere genannt.

3. Der Druck, den ein Körper vermöge seiner Schwere auf seine Unterlage ausübt, wird sein Gewicht genannt.

Als Einheit des Gewichts nimmt man jetzt allgemein das Gramm, das Gewicht von 1 Kubikcentimeter (Raumcentimeter) Wasser an. 1000 Gramm sind gleich 1 Kilogramm oder 2 Pfund.

4. Gleiche Gewichtsmengen verschiedener Stoffe nehmen ungleichen Raum (ungleiches Volumen) ein und umgekehrt werden gleiche Raumgrößen (gleiche Volumina) verschiedener Stoffe ungleiches Gewicht haben.

Die Zahl, welche angiebt, wie vielmal ein Körper schwerer ist als eine Wassermasse von gleichem Rauminhalte, wird sein Eigengewicht oder sein specifisches Gewicht genannt.

5. Wenn einem schweren Körper seine Unterstützung entzogen wird, so fällt er, d. h. er nähert sich mit wachsender Geschwindigkeit der Erdoberfläche.

Beim freien Fall nimmt die Geschwindigkeit des fallenden Körpers in gleichen Zeiten gleich viel zu und zwar in jeder Secunde um 30 Fuß.

Der Fallraum der ersten Secunde ist 15 Fuß, der Fallraum von 2 Secun-

den 2 . 2 oder 4 mal, der Fallraum von 3 Secunden ist 3 . 3 oder 9 mal so groß als der einer Secunde.

6. Die Geschwindigkeit eines senkrecht in die Höhe geworfenen Körpers nimmt nach dem gleichen Gesetze ab, nach welchem die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers zunimmt.

Zum Steigen braucht ein senkrecht in die Höhe geworfener Körper eben so viel Zeit, wie er braucht, um vom Gipfel seiner Bahn wieder herabzufallen; auf dem Boden kommt er mit derselben Geschwindigkeit wieder an, mit welcher er in die Höhe geworfen wurde.

7. Wenn die Kraft, welche auf einen bewegten Körper wirkt, nicht mit der Richtung zusammenfällt, nach welcher er sich bewegt, so beschreibt er eine krummlinige Bahn, wie wir solche bei der Wurfbewegung und bei der Centralbewegung beobachten; in jedem Moment ändert sich also die Richtung seiner Bewegung, während er vermöge seiner Trägheit in gerader Linie und zwar in der Richtung einer Tangente an die Bahn, fortzufliegen strebt. Durch die seitwärts wirkende Kraft wird er stetig von der geradlinigen Bahn wieder abgelenkt.

8. Auch ein um eine feste Axe herumgeschleuderter Körper hat fortwährend ein Bestreben, sich in tangentialer Richtung von seiner Kreisbahn zu entfernen. Die Kraft, mit welcher dies geschieht, wird die Schwungkraft genannt.

9. Die Schwingungsdauer eines einfachen Pendels hängt ab von seiner Länge, sie ist aber unabhängig von dem Stoffe, aus welchem die Pendelkugel besteht, und von der Größe des Ausschlags, so lange derselbe gewisse Gränzen nicht überschreitet.

Zu den wichtigsten Anwendungen des Pendels gehört die Regulirung der Wanduhren.

10. Wenn man die (in Kilogrammen oder Pfunden ausgedrückte) Größe des Druckes, welchen eine beschleunigende Kraft auf irgend einen Körper ausübt, multiplicirt mit der Länge des (in Metern oder Fußen ausgedrückten) Weges, um welchen sie ihn in einer gegebenen Zeit vorantreibt, so ist dies Product die mechanische Arbeit der Kraft, die sich stets mit der Hebung einer gegebenen Last auf eine bestimmte Höhe vergleichen läßt.

Die Größe der mechanischen Arbeit bleibt ungeändert, wenn die Kraft in demselben Verhältniß wächst, wie die Länge des zurückgelegten Weges abnimmt und umgekehrt.

11. Mechanische Potenzen, Flaschenzug, Hebel, Räderwerke, schiefe Ebene, Keil, Schraube rc. sind durchaus keine Kraftquellen, sie dienen nur zur Verwandlung der Arbeit, d. h. sie dienen dazu, die Arbeit der bewegenden Kraft, welche an der Maschine angebracht wird, in eine gleichwerthige Arbeit von größerer Kraft und geringerer Geschwindigkeit zu verwandeln.

12. In jedem festen Körper giebt es einen Punkt, welcher die Eigenschaft hat, daß dieser Körper sich unter allen Umständen gerade ebenso verhält, als ob sein ganzes Gewicht in diesem einzigen Punkte, dem Schwerpunkte des Körpers, vereinigt wäre.

13. Ist ein schwerer, fester Körper um eine feste, horizontale Axe drehbar, so

findet Gleichgewicht statt, wenn der Schwerpunkt des Körpers und diese horizontale Umdrehungsaxe auf einer und derselben Verticallinie liegen. Der Körper befindet sich

a) im Zustand des festen, sicheren oder stabilen Gleichgewichts, wenn der Schwerpunkt senkrecht unter der Drehungsaxe (unter dem Aufhängepunkt) liegt;

b) im Zustand des gleichgültigen, unbestimmten oder indifferenten Gleichgewichtes, wenn die Umdrehungsaxe durch den Schwerpunkt selbst geht;

c) im Zustand des unsicheren oder labilen Gleichgewichts, wenn der Schwerpunkt genau senkrecht über der Aufhängungsaxe liegt.

14. Die gewöhnliche Wage ist ein zweiarmiger um eine horizontale Axe drehbarer Hebel, dessen Schwerpunkt senkrecht unter der Umdrehungsaxe liegt, wenn der Wagebalken eine horizontale Lage hat.

15. Ein fester Körper kann auf einer Grundfläche stehen, wenn ein durch seinen Schwerpunkt gefälltes Perpendikel den Boden innerhalb dieser Grundfläche trifft. Seine Stabilität, Standfestigkeit, ist um so größer, je tiefer unter sonst gleichen Umständen der Schwerpunkt des Körpers liegt und je breiter seine Basis ist.

16. Die gegenseitige Lage der kleinsten Theilchen fester Körper ist keineswegs absolut unveränderlich; innerhalb enger Gränzen können sie allerdings gegen einander verschoben werden und kehren dann, wenn die störende Kraft zu wirken aufhört, wieder in ihre vorherige Gleichgewichtslage zurück. Diese Eigenschaft fester Körper nennt man Elasticität.

Elastisch nennt man aber gewöhnlich nur solche feste Körper, welche nach ziemlich bedeutender Verschiebung ihrer Theilchen wieder in ihre vorige Gleichgewichtslage zurückkehren.

17. Wenn die Theilchen eines festen Körpers über ihre Elasticitätsgränze hinaus verschoben werden, so hört der Zusammenhang derselben entweder ganz auf (spröde Stoffe) oder die Theilchen ordnen sich zu einer neuen Gleichgewichtslage (dehnbare und bildsame Stoffe).

18. Ein in Bewegung befindlicher Körper kann nur durch Ueberwindung solcher Kräfte zur Ruhe gebracht werden, welche seiner Bewegung entgegenwirken oder sie zu hemmen streben. Ein bewegter Körper wird also, während er zur Ruhe gelangt, eine gewisse mechanische Arbeit leisten, welche man seine lebendige Kraft, seine Wucht, nennt.

19. Trifft ein bewegter Körper *A* auf einen anderen *B*, so übt er einen Stoß aus, vermöge dessen die Bewegung von *A* theilweise auf *B* übertragen oder auch eine Verschiebung oder Zerreißung der auf einander stoßenden Körpertheilchen bewirkt wird.

20. Ueberall, wo ein Körper über einen anderen hingleitet, ist ein Widerstand zu überwinden, welchen wir gleitende Reibung nennen und welche um so größer wird, je größer der Druck ist, durch welchen die über einander hingleitenden Flächen an einander gedrückt werden.

21. Wenn ein runder Körper über einen anderen hinrollt, so ist die wälzende Reibung zu überwinden, welche viel kleiner ist als die gleitende.

22. Die Reibung ist uns von wesentlichem Nutzen; sie macht es uns mög-

lich, zu gehen und zu stehen; nur durch die Reibung können wir einen Gegenstand in der Hand festhalten und nur durch Reibung haftet der Nagel in der Wand.

23. Wenn auf eine ringsum von festen Wänden eingeschlossene Flüssigkeitsmasse auf irgend einer Stelle ein Druck ausgeübt wird, so pflanzt sich derselbe gleichförmig nach allen Seiten fort.

24. Der Druck, welchen der Boden eines mit Wasser gefüllten Gefäßes auszuhalten hat, hängt nur ab von der Größe der Bodenfläche und ihrer Tiefe unter dem Wasserspiegel, er ist unabhängig von der Form des Gefäßes.

25. Wenn ein fester Körper in Wasser untergetaucht wird, so übt die umgebende Flüssigkeit einen Druck gegen seine untere Fläche aus, welche den Körper in die Höhe zu treiben strebt und welche den Namen des Auftriebs führt. Der Körper sinkt, wenn sein Gewicht größer ist als der Auftrieb, er steigt, wenn sein Gewicht kleiner ist als der Auftrieb.

Vermöge des Auftriebes erleidet jeder in eine Flüssigkeit eingetauchte Körper einen Gewichtverlust, welcher gleich ist dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeitsmasse.

26. Ein fester Körper schwimmt auf dem Wasser, wenn sein Gewicht kleiner ist als das Gewicht eines gleichen Volumens Wasser; der schwimmende Körper sinkt gerade so tief ein, daß das Gewicht der verdrängten Wassermasse dem Gewichte des ganzen Körpers gleich ist.

27. Zwischen festen und flüssigen Körpern findet eine gewisse Anziehung, Adhäsion, statt, vermöge deren Flüssigkeiten an festen Körpern mehr oder weniger stark anhaften. Feste Körper werden benetzt, wenn die Anziehung zwischen den Theilchen der Flüssigkeit nicht so groß ist wie diejenige, mit welchen sie von den festen Körpern angezogen werden. Darauf beruhen die Haarröhrchen-Wirkungen.

28. Viele feste Körper werden von Flüssigkeiten aufgelöst. In der Regel kann die gleiche Flüssigkeitsmenge bei hoher Temperatur größere Mengen verschiedener Stoffe auflösen, als bei niederer.

Ist eine Flüssigkeit bei hoher Temperatur mit irgend einem Stoff gesättigt, so muß ein Theil desselben ausgeschieden werden, wenn die Flüssigkeit erkaltet (Krystallisation).

29. Wenn in irgend einem oben offenen mit Wasser gefüllten Gefäße ein Loch gemacht wird, so schießt aus demselben ein Wasserstrahl hervor, dessen Geschwindigkeit von der Druckhöhe, d. h. von der Höhe des Wasserspiegels über der Oeffnung abhängt. Die Ausflußgeschwindigkeit wächst mit der Druckhöhe.

30. Die Luft ist schwer, wie daraus hervorgeht, daß ein mit Luft gefülltes Gefäß mehr wiegt, als wenn dasselbe theilweise von Luft entleert ist.

31. Vermöge der Schwere der Luft übt die Atmosphäre einen Druck auf alle Körper der Erdoberfläche aus.

Der Luftdruck ist es, welcher das Wasser in dem Pumpenrohre hinaufdrückt, wenn der Kolben aufgezogen wird, und welcher die Flüssigkeit aus dem Gefäß in dem Maße in den kürzeren Schenkel des Hebers nachdrückt, in welchem sie am unteren Ende des längeren Schenkels ausläuft.

32. Die Quecksilbersäule im Barometerrohre hält dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht. Am Meeresspiegel beträgt die mittlere (als normaler Baro-

meterstand bezeichnete) Barometerhöhe 76 Centimeter. Da nun eine Quecksilbersäule von 1 □ Centimeter Querschnitt und 76 Centimeter Höhe 1033 Gramm wiegt, so drückt die Atmosphäre auf jedes Quadratcentimeter Oberfläche mit einem Gewicht von 1033 Gramm, ein Druck, welcher als Atmosphärendruck bezeichnet wird.

33. Aus dem Heronsball und dem Windkessel der Feuerspritze, welcher nichts als ein großer Heronsball ist, wird ein Wasserstrahl durch den Druck comprimirter Luft durch ein verhältnißmäßig enges Rohr ausgetrieben.

34. Die Luftpumpe dient dazu, die Luft in abgeschlossenen Behältern (Recipienten) zu verdünnen.

35. Der Luftballon besteht aus einer verhältnißmäßig leichten Hülle, welche durch ein Gas aufgeblasen ist, dessen Eigengewicht geringer ist, als das der umgebenden atmosphärischen Luft. Er steigt, sobald das Gesammtgewicht von Hülle und Inhalt kleiner ist, als das der vertriebenen Luftmasse.

Drittes Buch.

Die Lehre vom Schall.

1. Der Schall entsteht durch eine zitternde Bewegung elastischer Körper, welche durch eine Wellenbewegung der Luft (oder anderer Schallleiter) bis zu unserem Ohr fortgepflanzt wird.

2. Je mehr Schwingungen der tönende Körper in jeder Secunde macht, desto höher ist der Ton.

Die große Terz macht $^4/_3$ mal, die Quint macht $^3/_2$ mal und die Octav macht 2mal so viel Schwingungen in der Secunde als der Grundton.

Das Stimmgabel-*a* (das eingestrichene *a*) macht 427 Schwingungen in der Secunde.

3. Bei gleicher Spannung wächst die Schwingungszahl einer Saite in gleichem Verhältniß, in welchem ihre Länge abnimmt; wird die Saite 2mal, 3mal, 4mal kürzer gemacht, so macht sie 2mal, 3mal, 4mal so viel Schwingungen in der Secunde.

Bei unveränderter Länge wächst die Schwingungszahl einer Saite mit der Spannung.

4. Der Ton, welchen eine Saite giebt, wenn sie ihrer ganzen Länge nach schwingt, wird ihr Grundton genannt.

Wenn die Saite nicht ihrer ganzen Länge nach, sondern so schwingt, daß sie durch 1, durch 2, durch 3 u. s. w. Knotenpunkte in 2, in 3, in 4 u. s. w. gleiche für sich schwingende Theile getheilt wird, so macht sie 2mal, 3mal, 4mal u. s. w. so viel Schwingungen in der Secunde, als ihr Grundton; sie läßt also die

Obertöne ihres Grundtones hören, nämlich die Octav, die Duodecime, die zweite Octav u. s. w. desselben.

5. Tönende Stäbe, Platten und Glocken sind durch Knotenlinien in mehrere für sich schwingende Theile getheilt.

6. Wenn Luftsäulen, welche in Röhren eingeschlossen sind, selbsttönend werden, so oscilliren die einzelnen Luftschichten in der Richtung der Röhrenaxe hin und her.

Gedeckte Pfeifen geben ihren tiefsten Ton, wenn alle Luftschichten in denselben gleichzeitig gegen den Boden hin, dann wieder und gleichzeitig vom Boden weggehen. Dadurch entsteht am Boden der Röhre abwechselnd Verdichtung und Verdünnung.

Wenn offene Pfeifen ihren tiefsten Ton geben, so bildet sich in der Mitte der Röhre ein Schwingungsknoten, d. h. hier entsteht abwechselnd Verdichtung und Verdünnung, indem die Luftschichten von beiden Seiten her einmal gegen die Mitte hin und dann wieder nach jeder Seite hin von der Mitte weggehen.

7. Zungenpfeifen sind solche, bei welchen der durch eine entsprechende Oeffnung hervorquellende Luftstrom durch eine oscillirende Feder in regelmäßigen Zwischenräumen unterbrochen wird.

An die Stelle der vibrirenden Zungen können auch sehnige Lippen treten, welche eine in raschem Wechsel enger und weiter werdende Spalte bilden, und so die aus ihr hervorquellenden Schallwellen reguliren.

In dieser Weise geht auch die Tonbildung im menschlichen Stimmorgan, dem Kehlkopf, vor sich.

8. Die meisten Instrumente geben nicht einfache Klänge, sondern meistens ist der Grundton von einer Reihe seiner Obertöne begleitet. Der Charakter, die Klangfarbe des Instrumentes hängt davon ab, welche Obertöne und in welcher Stärke dieselben den Grundton begleiten.

9. Der Schall verbreitet sich in der atmosphärischen Luft mit einer Geschwindigkeit von 341 Meter oder 1100 Fuß in der Secunde.

10. Ein Echo entsteht, wenn der von einer Schallquelle ausgehende Schallstrahl irgendwie reflectirt zu seinem Ursprung zurückkehrt.

Viertes Buch.

Die Lehre vom Licht.

1. Wenn das Licht, welches von einem leuchtenden Körper ausgeht, von einem undurchsichtigen aufgefangen wird, so entsteht hinter demselben ein Schatten, d. h. ein Raum, in welchen kein Licht direct vom leuchtenden Körper eindringt. Hat der leuchtende Körper eine namhafte Ausdehnung, so entsteht außer dem Kernschatten, in welchen gar kein Licht vom leuchtenden Körper eindringt, noch ein Halbschatten, d. h. ein Raum, welcher nur von einem Theile des leuchtenden Körpers Licht empfängt.

2. Lichtstrahlen, welche die Oberfläche irgend eines Körpers treffen, ohne in denselben einzudringen, werden an seiner Oberfläche entweder regelmäßig gespiegelt oder unregelmäßig zerstreut. Die nach allen Seiten hin zerstreuten Strahlen sind es, welche uns die meisten Gegenstände unserer Umgebung sichtbar machen.

3. Der gespiegelte Strahl macht gleichen Winkel mit dem Einfallsloth wie der einfallende. Daraus folgt, daß ein ebener Spiegel von jedem vor ihm befindlichen Gegenstand ein Scheinbild giebt, welches eben so weit hinter der Spiegelebene liegt, wie der Gegenstand vor demselben.

4. Hohlspiegel geben verkehrte Sammelbilder von solchen Gegenständen, welche weiter von dem Hohlspiegel entfernt sind als sein Brennpunkt.

Diese verkehrten Sammelbilder sind kleiner als der Gegenstand, wenn sich derselbe in großer Entfernung befindet, während die Hohlspiegel verkehrte vergrößerte Sammelbilder von Gegenständen entwerfen, die dem Brennpunkt nahe liegen.

5. Von Gegenständen, welche innerhalb der Brennweite liegen, geben die Hohlspiegel aufrechte vergrößerte Scheinbilder.

6. Convex- oder Zerstreuungsspiegel geben von allen Gegenständen aufrechte verkleinerte Scheinbilder.

7. Wenn ein Lichtstrahl in gerader Linie in Luft fortschreitend die Oberfläche eines durchsichtigen festen oder flüssigen Körpers trifft, so wird er von seiner ursprünglichen Richtung in der Art abgelenkt, gebrochen, daß der gebrochene Strahl einen kleineren Winkel mit dem Einfallslothe macht als der einfallende.

8. Ein Lichtstrahl, welcher durch ein Prisma hindurchgeht, welches aus einem durchsichtigen festen oder flüssigen Stoff gebildet ist, erleidet bei seinem Eintritt und bei seinem Austritt eine Ablenkung nach gleicher Richtung, so daß der austretende Strahl einen Winkel mit der Richtung des eintretenden macht.

9. Wenn eine aus einem durchsichtigen Stoff gebildete Convexlinse von einem Bündel Lichtstrahlen getroffen wird, welches parallel mit der Axe ist, so werden dieselben so gebrochen, daß sie sämmtlich die Axe in einem Punkte schneiden, welcher der Brennpunkt heißt.

10. Von entfernten Gegenständen geben die Convexlinsen verkehrte verkleinerte Sammelbilder, von welchen in der camera obscura Gebrauch gemacht wird.

11. Von Gegenständen, welche sich in der Nähe des Brennpunkts einer Convexlinse, aber noch außerhalb ihrer Brennweite befinden, entwirft dieselbe verkehrte vergrößerte Sammelbilder, wie solche in der Zauberlaterne zur Anwendung kommen.

12. Von Gegenständen, welche sich innerhalb der Brennweite einer Convexlinse befinden, giebt dieselbe ein aufrechtes vergrößertes Scheinbild, wie man es beobachtet, wenn man die Convexlinse als Lupe benutzt.

13. Die optische Wirkung unserer Augen ist der einer camera obscura zu vergleichen. Wir sehen einen Gegenstand deutlich, wenn ein scharfes Bild desselben auf der Netzhaut entsteht.

14. Im Mikroskop wird das vergrößerte Sammelbild eines kleinen Gegenstandes, welcher nahe beim Brennpunkte der kleinen Objectivlinse liegt, durch die Ocularlinse, welche hier als Lupe dient, betrachtet, also abermals vergrößert, gesehen.

15. Bei dem astronomischen Fernrohr wird das Bild, welches eine Objectivlinse größerer Brennweite von entfernten Gegenständen entwirft, durch eine Lupe betrachtet, welche den Namen des Oculars führt. Bei dem terrestrischen Fernrohr tritt an die Stelle der Ocularlupe ein schwach vergrößerndes Mikroskop und bei dem holländischen oder galiläischen Fernrohr ist die Ocularsammellinse des astronomischen Fernrohrs durch eine Hohllinse ersetzt.

16. Ein Bündel weißer Lichtstrahlen, welches auf ein Prisma fällt, wird in eine Reihe farbiger Lichtstrahlen von ungleicher Brechbarkeit zerlegt, welche das Spectrum bilden, welches einerseits mit Roth beginnt und andererseits mit Violett endigt.

Weiße Körper sind solche, welche alle Farben des Spectrums gleich gut zerstreuen; schwarze dagegen sind solche, welche keine Farbe des Spectrums zu zerstreuen vermögen. Farbige Körper sind solche, welche gewisse Farben des Spectrums vorzugsweise zerstreuen, die übrigen aber verschlucken (absorbiren).

17. Das Licht ist im Stande, in gewissen Stoffen chemische Zersetzungen hervorzubringen und dies hat man zur Herstellung photographischer Bilder benutzt.

18. Das Licht wird durch eine rasche Oscillationsbewegung der Atome eines leuchtenden Körpers erzeugt und durch eine Wellenbewegung des Aethers*) fortgepflanzt.

Fünftes Buch.

Die Wärme.

1. Alle Körper werden durch Erwärmung ausgedehnt. Bei den festen Körpern ist diese Ausdehnung sehr unbedeutend; weit stärker ist sie bei flüssigen, am bedeutendsten aber bei luftförmigen Körpern.

2. Sehr bedeutend ist die Kraft, mit welcher sich feste und flüssige Körper beim Erwärmen ausdehnen.

3. Beim Erstarren dehnt sich das Wasser sehr bedeutend aus, so daß das Eis einen größeren Raum einnimmt als eine gleich große Gewichtsmenge Wasser. Auch diese Ausdehnung erfolgt mit enormer Kraft.

---

*) Der Aether, von welchem hier die Rede ist, muß wohl von der gleichgenannten Flüssigkeit unterschieden werden, deren Eigengewicht auf Seite 41 angegeben und dessen auch auf Seite 90 erwähnt ist. Diese auch unter dem Namen des Schwefeläthers bekannte, aber durchaus keinen Schwefel enthaltende Flüssigkeit bildet mit Weingeist gemischt die Hoffmann'schen Tropfen.

4. Die Ausdehnung des Quecksilbers oder des gefärbten Weingeistes durch die Wärme hat man zur Construction der Thermometer benutzt.

5. Die durch Erwärmung ausgedehnte Luft steigt in kälterer Umgebung in die Höhe. Darauf gründet sich die Wirkung der Schornsteine und die Entstehung der Winde.

6. Jede überhaupt schmelzbare feste Substanz geht bei einem bestimmten Erwärmungsgrad in den flüssigen Zustand über, wenn ihr noch weitere Wärme zugeführt, und bei demselben Temperaturgrad erstarrt sie, wenn ihr weitere Wärme entzogen wird. Verschiedene Substanzen haben verschiedene Schmelzpunkte.

7. Beim Schmelzen eines festen Körpers wird stets eine gewisse Wärmemenge gebunden, d. h. es geht beim Schmelzen eine große Wärmemenge in den festen Körper über, um ihn flüssig zu machen, ohne daß dabei seine Temperatur erhöht wird.

Wenn ein flüssiger Körper erstarrt, so muß umgekehrt die in ihm bisher gebundene Wärme wieder frei werden.

8. Bei jeder Auflösung eines festen Körpers wird Wärme gebunden und wenn dieselbe nicht rasch genug aus der Umgebung zugeführt wird, muß die Temperatur der Lösung sinken. Darauf beruhen die Kältemischungen.

9. Wasser sowohl wie andere Flüssigkeiten können in gasförmigen Zustand übergehen und sich in diesem Zustand im leeren sowohl wie im lufterfüllten Raum verbreiten.

10. Der unter dem Namen des Siedens oder Kochens bekannte massenhafte Uebergang einer Flüssigkeit in den Gaszustand findet bei gewöhnlichem Luftdruck bei einer Temperatur statt, welche man den Siedepunkt nennt. Jede Flüssigkeit hat ihren besonderen Siedepunkt.

11. Für die gleiche Flüssigkeit steigt der Siedepunkt bei erhöhtem, es sinkt aber der Siedepunkt bei vermindertem Druck.

12. In einem zum Theil mit Wasser gefüllten, sonst leeren, aber vollkommen abgesperrten Raum bildet sich eine Quantität Wasserdampf, welche um so mehr zunimmt, je höher die Temperatur steigt. Dieser Dampf übt gegen die Gefäßwände einen Druck aus, welchen man mit dem Namen der Spannkraft bezeichnet. Bei der Temperatur des Siedepunktes ist die Spannkraft der Dämpfe dem Druck der Atmosphäre gleich; sie wächst bei erhöhter und sinkt bei erniedrigter Temperatur.

13. Bei der Verdampfung einer Flüssigkeit wird stets eine gewisse Wärmemenge gebunden, welche wieder frei wird, wenn der Dampf in den flüssigen Zustand zurückkehrt. Ueberall wo eine rasche Verdampfung stattfindet, erfolgt eine entsprechende Erkaltung.

14. Von einem warmen Körper aus kann sich die Wärme auf zweierlei Weise in eine kältere Umgebung verbreiten, nämlich 1) durch Leitung und 2) durch Strahlung.

Bei der Wärmeleitung schreitet die Erwärmung langsam von Theilchen zu Theilchen voran und zwar in guten Wärmeleitern (Metalle) schneller, in schlechten Wärmeleitern (Glas, Porzellan, Holz ꝛc.) langsamer, während die Wärmestrahlen, den Lichtstrahlen gleich, gewisse Körper wie z. B. die Luft, mit fast

momentaner Geschwindigkeit durchdringen können, ohne dieselben zu erwärmen. Die Wärmestrahlen werden erst in fühlbare Wärme verwandelt, wenn sie Körper treffen, von denen sie weder gespiegelt noch durchgelassen, sondern verschluckt werden.

15. Die wichtigsten Quellen der Wärme sind für uns

a. die Sonnenstrahlen,
b. die Verbrennung,
c. mechanische Arbeit.

16. Nach der mechanischen Wärmetheorie erklärt man die fühlbare Wärme durch eine ungemein rasche Schwingungsbewegung der kleinsten Körpertheilchen, die Wärmestrahlung aber als eine Wellenbewegung des Aethers.

Dunkle, warme Körper unterscheiden sich von leuchtenden nur dadurch, daß die Schwingungen ihrer Theilchen nicht schnell genug sind, um einen Lichteindruck zu erzeugen.

Sechstes Buch.

Magnetismus und Elektricität.

1. Natürliche und künstliche Magnete haben die Eigenschaft, Eisen anzuziehen, und zwar zeigt sich diese Eigenschaft am stärksten an zwei Punkten des Magnets, welche man Pole nennt.

2. Weiches Eisen läßt sich leicht magnetisiren, verliert aber auch leicht seinen Magnetismus wieder, wenn es der Einwirkung der magnetischen Kraft entzogen wird; Stahl dagegen läßt sich schwer magnetisiren, verliert aber auch seinen Magnetismus nicht so leicht, wenn er einmal magnetisch gemacht worden ist.

3. Die beiden Pole eines Magnets sind nicht gleichartig; in horizontaler Ebene frei drehbar, stellt sich eine Magnetnadel so, daß sich der eine Pol (ungefähr) nach Norden, der andere (ungefähr) nach Süden wendet, weshalb der eine Nordpol, der andere Südpol genannt wird.

Gleichnamige Pole stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.

4. Um die magnetischen Erscheinungen zu erklären, nimmt man an, daß es zweierlei magnetische Flüssigkeiten gebe, welche gleichartige Theilchen abstoßen und ungleichartige anziehen. Jedes kleinste Eisentheilchen ist bereits ein vollständiger Magnet, dessen eine Hälfte mit Nord-, dessen andere Hälfte mit Südfluidum erfüllt ist. Die Magnetisirung eines Eisen- oder Stahlstabes beruht darin, die gleichnamigen Pole dieser Urmagnetchen mehr und mehr nach derselben Seite hin zu richten.

5. Gewisse Körper, wie Harz, Glas ꝛc., erlangen durch Reiben die Eigenschaft, leichte Körper anzuziehen und alsbald wieder abzustoßen. Die Ursache dieser Anziehung und Abstoßung nennt man Elektricität.

6. Ein von einem geriebenen Harzstab abgestoßener Körper wird von einem

geriebenen Glasstab angezogen, und umgekehrt. Man unterscheidet demnach zweierlei Elektricitäten, die man Glas- und Harzelektricität oder auch positive und negative Elektricität genannt hat und die man durch die Annahme zweier elektrischer Fluida erklärt, welche aber von einem Körper zum anderen übergehen können und nicht wie die magnetischen Fluida an die Urmagnetchen gebunden sind.

Die Theilchen desselben elektrischen Fluidums stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.

7. In ihrem Verhalten gegen die Elektricität zeigen verschiedene Körper ein sehr ungleiches Verhalten. Die Leiter der Elektricität (vorzugsweise die Metalle) nehmen eine elektrische Ladung leicht an und geben sie leicht ab, so wie sie ihr auch leicht den Durchgang gestatten, was bei den Isolatoren (Glas, Harz ꝛc.) nicht der Fall ist.

8. In einem isolirten, nicht elektrisirten Leiter *A* findet eine elektrische Vertheilung statt, sobald man einen elektrisch geladenen Körper *B* in seine Nähe bringt. Die bis dahin noch verbunden gewesenen Elektricitäten in *A* werden getrennt, die von *B* angezogene Elektricität nach dem Ende von *A* hingezogen, welches *B* zunächst liegt, die von *B* abgestoßene Elektricität aber auf die abgewendete Seite von *A* getrieben. Die von *B* abgestoßene Elektricität kann von *A* abgeleitet werden, die von *B* angezogene aber nicht, sie ist gebunden.

Die Gesetze der elektrischen Vertheilung kommen beim Elektrometer, dem Elektrophor und der Elektrisirmaschine zur Anwendung, während die Anhäufung größerer Elektricitätsmengen auf den Belegungen einer Leydner Flasche durch gebundene Elektricität zu erklären ist.

9. Ein elektrischer Funke springt über, wenn zwei mit entgegengesetzter Elektricität geladene Leiter hinlänglich genähert werden und der sie trennende Isolator (gewöhnlich Luft) nicht im Stande ist, ihre Vereinigung zu verhindern.

10. Wenn ein isolirter elektrischer Leiter mit einer Metallspitze versehen wird, so findet auf dieser eine starke Anhäufung und in Folge dessen auch eine Ausströmung von Elektricität statt; darauf gründet sich die Wirksamkeit der Blitzableiter.

11. Wenn eine Metallplatte in angesäuertes Wasser eingetaucht wird, so nimmt sie eine um so stärkere negativ elektrische Ladung an, je stärker sie von der Flüssigkeit angegriffen wird; eine entsprechende positive Ladung geht dann auf die Flüssigkeit über.

Taucht man in die saure Flüssigkeit irgend eines Gefäßes eine Zinkplatte, ihr gegenüber, ohne daß sie die Zinkplatte berührt, eine Platte von weniger leicht oxydirbarem Metalle, etwa von Kupfer, so nimmt der aus der Flüssigkeit hervorragende Theil der Zinkplatte eine negative, der hervorragende Theil der anderen Platte eine positive Ladung an. Eine solche Combination ist ein Galvanisches Element; der hervorragende Theil der Zinkplatte ist der positive, der der anderen Metallplatte ist der negative Pol des Elements.

Aus der Combination mehrerer galvanischen Elemente wird die Volta'sche Säule gebildet.

12. Wenn der positive und der negative Pol eines galvanischen Elements oder einer Volta'schen Säule leitend mit einander verbunden werden, so entsteht ein galvanischer Strom, indem die positive Elektricität vom positiven Pol durch

den Schließungsbogen zum negativen Pol, in der Säule aber stets von der Zinkplatte durch die Flüssigkeit zur Kupferplatte strömt. Die negative Elektricität wandert natürlich in entgegengesetzter Richtung.

13. Dünne Metalldrähte werden durch den galvanischen Strom erwärmt und wenn der Strom stark genug ist, selbst glühend gemacht.

14. Flüssigkeiten können den galvanischen Strom nur insofern leiten, als sie von ihm in ihre Bestandtheile zerlegt werden. Auf die chemischen Wirkungen des Stromes gründet sich die Galvanoplastik und die galvanische Vergoldung und Versilberung.

15. Wenn der galvanische Strom an einer Magnetnadel vorübergeführt wird, so lenkt er dieselbe aus der durch den Erdmagnetismus bedingten Gleichgewichtslage ab. Wird ein galvanischer Strom in vielfachen Windungen um einen Stab weichen Eisens herum geführt, so wird derselbe stark magnetisch, er verliert aber seinen Magnetismus sogleich wieder, sobald der Strom unterbrochen wird. Solche durch den galvanischen Strom nur zeitweise magnetisch gemachten Eisenstäbe nennt man Elektromagnete; sie kommen vorzugsweise bei den elektrischen Telegraphen zur Anwendung.

Alphabetisches Inhaltsverzeichniß.

Seite

A.

Abstoßung, elektrische 221
— magnetische 216
Abweichung, magnetische 216
Aether 172, 255
Aetzkali 19
Aggregatzustände 6
Akustik 116
Alaun 30
Alaunerde 17
Alkalien 18
Alkoholometer 87
Allgemeine Schwere 40
Aluminium 17
Anker 215
— der Wanduhren 55
Anlassen 217
Anlauf 38
Anziehung, elektrische 221
— magnetische 216
Aräometer 86
Arbeit, mechanische 56
Astronomisches Fernrohr 168
Atmosphärendruck 105
Atmosphärische Luft 3
Atome 9
Auflösung 89, 188
Auftrieb 81
Auge 162
Ausdehnung fester Körper 174
— flüssiger Körper 175
— der Luft 181
— bei der Eisbildung 177
Ausdehnungskraft 6
Ausfluß 92
Ausschlagswinkel des Pendels . . . 53
Ausschlag der Wage 69
Axe der Hohlspiegel 147
— der Linsen 154

B.

Bäuche 124
Barometer 102
Barometerhöhe 104
Barometerleere 103
Barometerstand 104
Barium 18
Baryt 18
Baßgeige 122
Batterie, elektrische 232
Baumwolle 167
Beharrungsvermögen 37
Benetzung 87
Bergkrystall 31
Bilder der Planspiegel 144
— der Kugelspiegel 148
— der Linsen 156
Bildsam 73
Bindungsgewichte 16
Bittererde 17
Bittersalz 30
Blasbalgharmonika 133
Bleiglätte 13
Bleiglanz 32
Bleivitriol 30
Blitzableiter 235
Bodendruck 81
Bodenventil 100
Brechstange 61
Brechung des Lichtes 150
Brechungswinkel 151
Brennpunkt der Hohlspiegel 147
— der Linsen 155

Seite

Brennweite der Linsen 156
— der Hohlspiegel 147
Brillen 165
Brom 25

C.

Calcium 17
Camera obscura 148
Celsius 180
Centralbewegung 49
Chemische Wirkungen des Stroms . 239
— des Lichts 170
Chemische Zusammensetzung 10
Chilisalpeter 31
Chlor 24
Chlorkalk 25
Chlorkalium 33
Chlormagnesium 33
Chlornatrium 33
Chlorsilber 171
Chlorwasser 25
Clarinette 134
Clavier 122
Concavspiegel 146
Conductoren 222
Consonanten 135
Constante Becher 238
Convexlinsen 154
Convexspiegel 146

D.

Dampfkochtopf 192
Dampfmaschine 200
Dehnbar 73
Destillirapparat 200
Deutliches Sehen 163
Diamant 10
Druckpumpen 100
Duodezime 124

E.

Echo 138
Echappement 54
Edle Metalle 16
Eigengewicht 41
Einfache Körper 10
Einfallsloth 144
Eis 2
— Eigengewicht desselben 176
Eisbildung 177
Eisen 7
Eisenfeile 7
Eisenkies 32

Seite

Eisenvitriol 8, 29
Elasticität 72
Elektricität, gebundene 226
Elektrische Vertheilung 224
— Ströme 235
Elektrischer Wind 234
Elektrisches Pendel 221
Elektrisirmaschine 228
Elektromagnete 242
Elektrometer 225
Elektrophor 222, 227
Elemente 10
Entladungsschlag 232
Erden 16
Erdfernrohr 168
Erstarrungstemperatur 186
Erz 16
Expansionskraft 6

F.

Fadenzähler 161
Fagott 134
Fahrenheit 180
Fall, freier 42
Fallrinne 42
Fallröhre 111
Farben des Spectrums 170
Farbige Körper 170
Feldspath 32
Fernrohr 168
Fernsichtigkeit 165
Feste Körper 2, 8
Feuerspritze 107
Flaschenzug 57
Fliehkraft 51
Fließen 91
Flintglas 152
Flöte 132
Flüssige Körper 2, 8
Focus der Hohlspiegel 147
— der Linsen 155
Funke, elektrischer 229
Fußpfund 56

G.

Galvanische Ströme 235
Galvanisches Element 236
Galvanoplastik 240
Gasförmig 3
Gebundene Elektricität 226
— Wärme 187
Gediegene Metalle 16
Gefrierpunkt 179
Geräusch 119

Seite

Geschwindigkeit des Schalls 137
Gewicht 40
Glas 32
Glaselektricität 122
Glasharmonika 126
Glasur 32
Glaubersalz 30
Gleichgewicht 66
Gramm 40
Graphit 10
Grundton 120
Guitarre 122
Gußeisen 217
Gyps 30

H.

Haarröhrchen 88
Hahnenluftpumpe 110
Halbschatten 141
Harmonium 133
Hart 72
Harzelektricität 221
Hebel 59
Heber 100
Hemmung 54
Heronsball 107
Hörrohr 140
Hohllinsen 154
Hohlspiegel 146
Holländisches Fernrohr 168
Horn 134
Hornhaut 162
Hydraulische Presse 80

J.

Indifferentes Gleichgewicht 66
Jod 25
Jodsilber 171
Iris 163
Isolatoren 223

K.

Kältemischungen 188
Kaffeemaschine 197
Kali 18
— kohlensaures 31
— schwefelsaures 30
Kalilauge 19
Kalium 18
Kalk, kohlensaurer 27
— gebrannter 17
— schwefelsaurer 28

Seite

Kalkerde 13
Kalkstein 17
Kautschukballons 6
Kehlkopf 135
Keil 63
Kernschatten 141
Kieselerde 31
Kilogramm 40
Klangfarbe 135
Knall 119
Knotenlinien 127
Knotenpunkt 124
Kochsalz 33
Kohle 10
Kohlenoxydgas 29
Kohlensäure 26
Kolbenrohr 98
Kreide 17
Kronglas 152
Krystallwasser 30
Krystallisation 90
Krystalllinse 163
Kühlrohr 201
Kugelspiegel 146
Kupfervitriol 30
Kupferglanz 32
Kurzsichtigkeit 165

L.

Labiles Gleichgewicht 66
Lackfirnisse 90
Längsschwingungen 132
Lebendige Kraft 74
Legirungen 186
Lehm 16
Leinen 167
Leiter der Elektricität 223
Lesegläser 161
Leydener Flasche 230
Licht 141
— zerstreutes 143
— elektrisches 239
Linsen 154
Liqueure 90
Luftströmung 182
Luft 3
— trockene 195
— feuchte 195
Luftballon 112
Luftdruck 96
Luftförmige Körper 9
Luftpumpe 109
Luftsäulen, tönende 128
Luftthermometer 182
Luftwiderstand 111
Lupe 160

Seite

M.

Magdeburger Halbkugeln 111
Magnesia 17
Magnesium 18
Magnete 214
Magnetische Flüssigkeiten 219
Magnetische Wirkungen des Stroms 240
Magnetnadel 215
Magnetisirungsspirale 241
Magnetismus 214
Marmor 17
Mechanik 37
Metalle 10
Metallklang 136
Metalloide 10
Meterkilogramm 56
Mikroskop 165
Mitklingen 136
Mittagslinie 216
Monochord 124
Multiplicator 241
Mundharmonika 133

N.

Natrium 18
Natron 18
— kohlensaures 31
— schwefelsaures 30
Nebenaxe der Hohlspiegel 148
— der Linsen 156
Negative Elektricität 221
Nerv, optischer 163
Netzhaut 163
Nordpol, magnetischer 216

O.

Obertöne 124
Objectiv des Mikroskops 166
— des Fernrohrs 168
Octav 121
Ocular des Mikroskops 166
— des Fernrohrs 168
Ohr 118
Optik 141
Orgelpfeifen 130
Oxyd 13
Oxydul 15

P.

Pansflöte 130
Parabel 49

Seite

Pendel 52
— elektrisches 220
Pfeifen 129
Pferdekraft 56
Pfund 40
Phosphor 10
Phosphorsäure 20
Photographie 170
Plastisch 73
Pole, magnetische 215
— der Säule 236
Poröse Thongefäße 239
Porzellan 32
Positive Elektricität 221
Potasche 18
Potenzen, mechanische 57
Presse, hydraulische 80
Prismen 152
Procentaräometer 87
Pumpen 98
Pupille 163

Q.

Quart 121
Quarz 31
Querschwingungen 132
Quecksilberoxyd 10
Quint 121

R.

Reaumur 180
Reibung, gleitende 75
— wälzende 77
— Nutzen derselben 78
Reibungselektricität 220
Resonanzboden 122
Resonatoren 136
Rollen 57
Rost 16
Rostflecken 8

S.

Saccharometer 87
Saiteninstrumente 122
Salzspindeln 87
Salpeter 31
Salpetersäure 29
Sammelbilder der Hohlspiegel . . . 148
— der Linsen 157
Sammelspiegel 146
Saugpumpe 98
Sauerstoff 10
Sauerwasser 27

Seite

Säule, Voltaische 237
Säure 25
Scalenaräometer 87
Schallbildung 116
Schallwellen 118
Schatten 141
Scheinbilder ebener Spiegel 144
— der Hohlspiegel 150
— der Converspiegel 150
— der Sammellinsen 161
— der Hohllinsen 161
Schiefe Ebene 63
Schleuder 51
Schmelzpunkt 185
Schmelzungswärme 187
Schmiedeeisen 217
Schnellloth 186
Schnellwage 61
Schornstein 184
Schraube 63
Schwefel 10
Schwefelsäure 25
Schwefelkies 32
Schwefelkohlenstoff 33
Schwere 39
Schwere der Luft 93
Schwerpunkt 63
Schwerspath 18, 30
Schwimmen 85
Schwingungsknoten 124
Schwingungsdauer des Pendels . . . 53
Schwungkraft 51
Second 121
Senkwage 86
Sehwinkel 164
Seide 167
Septime 121
Sext 121
Silicium 31
Sirene 119
Sicherheitsventil 193
Siedepunkte 191
Siedepunkt des Wassers 179
Soda 18
Sonnenmikroskop 160
Spannkraft der Dämpfe 193, 196
Specifisches Gewicht 41
Spectrum 169
Spiegelebene 145
Spiegelung des Lichts 142
Spitzenwirkung, elektrische 233
Sprachrohr 140
Springbrunnen 93
Spritzbüchse 98
Spritzflasche 107
Spröde Körper 73
Stahlmagnete 214
Stabilität 70
Stahlharmonika 126
Standfestigkeit 69

Stechheber 101
Steigrad 54
Stereoskop 164
Stickstoff 19
Stimmbänder 135
Stimmorgan 134
Stoß 74
Strahlungsvermögen 208
Streichinstrumente 122
Ströme, elektrische 235
Strohfidel 127
Südpol, magnetischer 216
Syrinx 130

T.

Tageshelle 143
Talkerde 17
Telegraphen, elektrische 243
Terz 120
Thau 208
Thaupunkt 195
Theilbarkeit 1
Thermometer 178
Thon 32
Thonerde 17
Tincturen 90
Ton 119
Tönende Stäbe 125
— Glocken 125
— Luftsäulen 128
— Saiten 37
Tonhöhe 119
Trägheit 37
Trompete 134

U.

Uebersetzung, mechanische 59
Undulationstheorie 172
Urtheilchen 6

V.

Ventilluftpumpen 109
Verbrennung 12
Verdampfung 189
Verdampfungswärme 201
Verdampfungskälte 202
Vergoldung } galvanische 240
Versilberung }
Vergrößerungsspiegel 148
Vergrößerungsgläser 160
Vertheilung, elektrische 224
Vibrationstheorie 172
Violine 122

Seite

Vitriolöl 25
Vocale 135
Voltaische Säule 237

W.

Wage 67
Wärme 174
Wärmeleitung 202
Wärmeentwicklung durch den Strom 239
Wärmestrahlung 205
Wanduhren 57
Wasser 1
— Bestandtheile desselben 23
Wasserdampf 3
Wasserstoff 21
Wasserzersetzung, elektrische 240
Weingeistthermometer 179
Windkessel 107
Wind 185
— elektrischer 234
Witterungstafel 104
Wollastonische Säule 238
Wolle 167
Wood'sches Metall 187
Wurfbewegung 45
Wurflinie 47

Z.

Zauberlaterne 159
Zerstreuung des Lichts 142
Zerstreuungspunkt der Convexspiegel 161
— der Hohllinsen 161
Zerstreuungslinsen 154
Zerstreuungsspiegel 146
Zinnober 8, 32
Zinkvitriol 30
Zinkweiß 13
Zugfernrohr 169
Zusammenhangsform 1
Zusammensetzung der Körper . . . 1

Müller, Johann Heinrich Jacob,

Die Schule der Physik eine Anleitung zum ersten Unterricht in der Naturlehre ; zum Schulgebrauch und zur Selbstbelehrung

Braunschweig 1874